

**EFFECTO DE ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS INCUBADOS DE ALTO  
PARANÁ, PARAGUAY**

**LUIS FELIPE SAMUDIO CARDOZO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de ***Magíster Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial***. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección de Postgrado  
San Lorenzo, Paraguay  
2020

**EFEECTO DE ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS INCUBADOS DE ALTO  
PARANÁ, PARAGAY**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIODINÁMICA DE SUELO**

**LUIS FELIPE SAMUDIO CARDOZO**

Comité Asesor de Tesis

Orientadora: Prof. Ing. Agr. *MSc.* Alba Liz González

Co – Orientadores: Prof. Ing. Agr. *PhD.* Héctor Javier Causarano Medina  
Prof. Ing. Agr. *MSc.* María del Pilar Galeano  
Dr. Bioq. Héctor David Nakayama Nakashima

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de ***Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial***. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección de Postgrado  
San Lorenzo, Paraguay

2020

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección de Postgrado

**EFFECTO DE ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS INCUBADOS DE ALTO  
PARANÁ, PARAGAY**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de **Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial**. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

Autor: Luis Felipe Samudio Cardozo .....

Miembros del comité Asesor de Tesis

Prof. Ing. Agr. *MSc.* Alba Liz González .....

Prof. Ing. Agr. *PhD.* Héctor Javier Causarano Medina .....

Prof. Ing. Agr. *MSc.* María del Pilar Galeano .....

Dr. Bioq. Héctor David Nakayama Nakashima .....

San Lorenzo, 20 de noviembre de 2020

***DEDICATORIA***

*A mi compañera de vida Tania Mireya  
por su confianza y apoyo incondicional*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre Todopoderoso por el don de la vida y a la Virgen de Caacupé por tantas bendiciones concedidas.

A mis padres Felipe y Marina, agradecimientos especiales, por todo el cariño, incentivo, paciencia, confianza y por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento.

A mis hermanos Guido, Cristhian, Fernando y Juan por todo el apoyo brindado.

A mi orientadora Prof. Ing. Agr. *MSc.* Alba Liz González, por orientarme en la ejecución de este trabajo de investigación, por las correcciones, por el auxilio, paciencia, enseñanza, amistad y por todo el apoyo.

Al Prof. Ing. Agr. *PhD.* Héctor Causarano, por su total predisposición, por sus excelentes aportes y orientaciones, y por la gestión de la infraestructura e insumos necesarios para la elaboración de esta investigación.

Al Dr. Bioq. Héctor Nakayama, por las enseñanzas, sugerencias y por su tiempo, que fueron de suma importancia para la realización de esta investigación.

A la Prof. Ing. Agr. *MSc.* María del Pilar Galeano, por las sugerencias y el apoyo de siempre.

Al Prof. Ing. Agr. *PhD.* Dorivar Ruíz Díaz, por la predisposición, enseñanzas, constante apoyo, además de brindarme su tiempo, recibirme y guiarme en la Kansas State University donde pude realizar parte de mi investigación.

Al coordinador del Programa de Maestría Prof. Ing. Agr. *Dr.* Carlos Leguizamón, por su excelente labor y total predisposición.

A mis compañeros de la Maestría por todo el aprendizaje, enseñanzas y amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca que me permitió culminar con éxito mis estudios.

Al Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier, por brindarme los insumos, infraestructura y espacio necesario para la realización de mi tesis.

En definitiva, a todas las personas que me han brindado su ayuda y de alguna manera han cooperado para que este trabajo llegara a su fin.

**EFFECTO DE ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS INCUBADOS DE ALTO  
PARANÁ, PARAGAY**

Autor: Luis Felipe Samudio Cardozo  
Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González  
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina  
Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. María del Pilar Galeano Samaniego  
Co-Orientador: Dr. Bioq. Héctor David Nakayama Nakashima

**RESUMEN**

La región oriental del Paraguay se caracteriza por tener suelos ácidos en la mayor parte de su superficie, características químicas inadecuadas para la agricultura, siendo necesaria la aplicación de calcáreas para obtener buenos rendimientos. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de diferentes enmiendas calcáreas sobre las propiedades químicas y biológicas de dos suelos incubados. La incubación de suelos se desarrolló en el Distrito de Minga Guazú, en el Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier, donde también fueron realizadas las evaluaciones químicas. Las evaluaciones biológicas se realizaron en el Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas de la UNA, Distrito de San Lorenzo, Central. El experimento de incubación se estableció con tres repeticiones por tratamiento y con un diseño de Bloques Completos al Azar, con arreglo factorial, donde los factores fueron las fuentes de enmiendas calcáreas (dolomita, algas calcáreas, algas calcáreas con 1/3 de la dosis recomendada y dos calcáreas experimentales) combinados con un inoculante, la textura del suelo (arenoso y arcilloso) y el tiempo de incubación (30, 60 y 90 días). Las enmiendas calcáreas con las dosis utilizadas neutralizaron la acidez en el suelo arenoso, excepto el calcáreo marino con dosis reducida, mientras que en el suelo arcilloso ningún tratamiento fue eficiente en la neutralización de acidez. Estas enmiendas incrementaron el Ca, Mg, S y la Suma de Bases, además de reducir el Al en los suelos incubados. Con la dosis menor de la enmienda de algas no se logró reducir el Al de forma eficiente. El aumento de pH no contribuyó en el incremento de la población de *Bradyrhizobium sp.*, en los suelos incubados.

**Palabras clave:** Enmienda calcárea, pH, biología de suelos, *Bradyrhizobium sp.*

**EFEECTO DE ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS INCUBADOS DE ALTO  
PARANÁ, PARAGAY**

Autor: Luis Felipe Samudio Cardozo

Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. María del Pilar Galeano Samaniego

Co-Orientador: Dr. Bioq. Héctor David Nakayama Nakashima

**RESUMO**

A região oriental do Paraguai é caracterizada por possuir solos ácidos em grande parte da sua superfície, características químicas inadequadas para a agricultura, sendo necessária a calagem para obter boa produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de diferentes emendas calcárias em dois solos incubados nas propriedades químicas e biológicas do solo. A incubação dos solos foi realizada no Distrito de Minga Guazú, no Centro de Investigação e Desenvolvimento do Grupo Roullier, onde também foram realizadas avaliações químicas e biológicas no Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas da UNA, Distrito de San Lorenzo, Central. O ensaio de incubação foi estabelecido com três repetições por tratamento e com delineamento experimental de DBCA com arranjo fatorial, onde os fatores foram as fontes de emenda calcária (dolomita, algas calcárias, algas calcárias com 1/3 da dose recomendada e duas calcárias experimentais) combinada com um inoculante, a textura do solo (areia e argila) e o tempo de incubação (30, 60 e 90 dias). Os calcários com as doses utilizadas neutralizaram a acidez no solo arenoso, exceto o calcário marinho com dose reduzida, enquanto no solo argiloso nenhum tratamento foi eficiente na neutralização da acidez. Essas emendas aumentaram o Ca, Mg, S e SB e também reduziram o Al nos solos incubados. Com a dose mais baixa da emenda de algas, não foi possível reduzir o Al de forma eficiente. O aumento do pH não contribuiu para o aumento da população de bactérias *Bradyrhizobium sp*, nos solos incubados.

**Palavras chave:** Emenda calcárea, pH, biología do solo, *Bradyrhizobium sp*.

# **LIME AMENDMENTS EFFECTS ON THE CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES IN INCUBATED SOILS OF ALTO PARANÁ, PARAGAY**

Author: Luis Felipe Samudio Cardozo

Advisor: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González

Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina

Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. MSc. María del Pilar Galeano Samaniego

Co-Advisor: Dr. Bioq. Héctor David Nakayama Nakashima

## **SUMMARY**

The eastern region of Paraguay is characterized by having acid soils in most of its surface, chemical characteristics unsuitable for agriculture, being necessary the application of lime to obtain good yields. The objective of this work was to evaluate the effects of the application of different lime amendments in two incubated soils on the chemical and biological properties of the soil. The incubation of soils and chemical evaluations were carried out in the District of Minga Guazú, in the Centro de Investigación y Desarrollo of the Roullier Group and biological evaluations were carried out in the Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas of UNA, District of San Lorenzo, Central. The incubation trial was established with three repetitions per treatment and with a DBCA experimental design with factorial arrangement, where the factors were the sources of lime amendments (dolomite, calcareous seaweed, calcareous seaweed with 1/3 of the recommended dose and two experimental lime ) combined with an inoculant, the texture of the soil (sandy and clayey) and the incubation time (30, 60 and 90 days). Lime amendments with the doses used neutralized the acidity in the sandy soil, except the marine lime with a reduced dose, while in the clay soil, no treatment was efficient in neutralizing acidity. These amendments increased Ca, Mg, S and SB, and also reduced Al in the incubated soils. With the lower dose of the algae amendment, it was not possible to reduce Al efficiently. The increase in pH did not contribute to the increase in the population of the *Bradyrhizobium sp* in the incubated soils.

**Keywords:** Lime amendment, pH, soil biology, *Bradyrhizobium sp*.



## TABLA DE CONTENIDO

	Página
Portada.....	i
Página de aprobación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Resumen.....	v
Resumo.....	vi
Summary.....	vii
Tabla de contenido.....	viii
Lista de tablas.....	x
Lista de figuras.....	xi
Lista de anexos.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Acidez del suelo .....	3
2.2 Naturaleza de la acidez del suelo .....	4
2.3 Clasificación de la acidez.....	5
2.4 Calcáreos .....	6
2.5 Materiales de encalado.....	7
2.5.1 Calcita .....	7
2.5.2 Dolomita.....	8
2.5.3 Silicato de Calcio .....	8
2.6 Alga calcárea como corrector de acidez.....	8
2.7 Calidad de los materiales de encalado .....	9
2.7.1 Pureza química.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7.2 Forma química .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7.3 Tamaño de partículas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7.4 Poder Relativo de Neutralización Total .....	11

2.8 Método de encalado por incubación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.9 Efectos de enmiendas calcáreas en el suelo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.10 Relación de la actividad biológica y la acidez del suelo ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.1 Localización del experimento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.8</b>
3.3 Análisis químico .....	20
3.4 Análisis biológico .....	21
3.5 Análisis estadístico.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.1 Caracterización química y biológica de los suelos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.2 Alteraciones en las propiedades químicas del suelo .....	25
4.3 Alteraciones en las propiedades biológicas del suelo .....	33
5. CONCLUSIÓN.....	36
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
7. ANEXOS .....	44

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
1. Valor de neutralización de los diferentes materiales de encalado .....	10
2. Eficiencia de la enmienda según tamaño de partículas.....	11
3. Descripción de los tratamientos utilizados en la incubación con sus respectivas dosis. Minga Guazú, Paraguay. 2019. ....	19
4. Caracterización química, biológica y textural de los dos tipos de suelos previa a la aplicación de los tratamientos. Minga Guazú, Paraguay. 2019 .....	24
5. Nivel de significancia de las variables a las interacciones. Minga Guazú, Paraguay. 2019.....	25

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Cambios en el contenido de calcio en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). 2019. ....	26
2. Cambios en el contenido de magnesio en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). 2019. ....	27
3. Cambios en el contenido de potasio en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). 2019. ....	28
4. Cambios en el contenido de aluminio en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días).2019.....	29
5. Cambios en el contenido de suma de bases en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días).2019.....	30
6. Cambios en el pH (Cl <sub>2</sub> Ca) en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días).2019.....	31
7. Cambios en el pH (H <sub>2</sub> O) en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días) .....	32

8. Cambios en el contenido de azufre en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días).2019.....	33
9. Efecto de las enmiendas calcáreas incubadas sobre la población de la bacteria <i>Bradyrhizobium sp.</i> , en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná.....	34

## LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Caracterización química de enmiendas calcáreas.....	45
Anexo 2. Localización del experimento. Timac Agro, Minga Guazú.....	45
Anexo 3. Invernadero de la empresa Timac Agro, Minga Guazú.....	45
Anexo 4. Incubación de enmiendas calcáreas en suelos ácidos y arenosos.....	45
Anexo 5. Testigo sin calcáreo.....	46
Anexo 6. Pesaje de enmiendas previa incubación de tratamientos.....	46
Anexo 7. Esterilización de placas y utensilios de laboratorio.....	46
Anexo 8. Elaboración de medio de cultivo semiselectivo para <i>Bradyrhizobium</i> .....	46
Anexo 9. Esterilización de medio de cultivo.....	47
Anexo 10. Preparación de los equipos a ser utilizados bajo campana.....	47
Anexo 11. Tubos con solución salina.....	47
Anexo 12. Medios de cultivos semiselectivos para <i>Bradyrhizobium</i> .....	48
Anexo 13. Agitación del suelo con la solución salina.....	48
Anexo 14. Extracción de la solución del suelo.....	48
Anexo 15. Siembra de <i>Bradyrhizobium sp.</i> ....	48
Anexo 16. Las placas son puestas en estufa.....	49
Anexo 17. Conteo de colonias de bacterias.....	49
Anexo 18. Valores finales de pH de los diferentes tratamientos en suelos arenosos...49	
Anexo 19. Valores finales de pH de los diferentes tratamientos en suelos arcillosos...49	

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de cal agrícola es una de las prácticas más importantes de la agricultura, la acidez del suelo se ha destacado como una de las principales causas que limita la productividad agrícola en regiones tropicales, que se da por la acción nociva que causa sobre el crecimiento de las raíces, como también, en la absorción de nutrientes y agua por los cultivos.

En nuestro país, la aplicación de calcáreos es necesaria para obtener buenos rendimientos, ya que los suelos de la Región Oriental del Paraguay presentan naturalmente elevada acidez, además de presentar baja fertilidad con deficiencia de nutrientes importantes para el desarrollo del cultivo.

Las investigaciones realizadas por Barbosa Filho et al. (2001), revelan que el pH del suelo puede ser alterado con la aplicación de nitrógeno, dependiendo de la fuente y la dosis aplicada. Utilizando urea con dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, el pH en la camada de 0-10 cm, que inicialmente estaba en 6,0 disminuyó a 5,7; pero cuando la fuente fue sulfato de amonio, el pH disminuyó a 4,9. Infiriendo que, en suelos fertilizados por muchos años con nitrógeno, puede ser necesaria la aplicación de dosis más elevadas de calcáreo para neutralizar la acidez del suelo.

Por la creciente demanda de productos químicos, y la contaminación que estos pueden ocasionar al ambiente, es necesario desarrollar otras alternativas sustentables capaces de mejorar la producción agrícola. El uso de las enmiendas calcáreas podría mitigar estos problemas y a la vez promover el incremento de bacterias fijadoras de nitrógeno y aumentar el rendimiento de los cultivos.

El calcáreo de origen marino es una alternativa válida para ser introducido en nuestro país como correctivo de suelos ácidos, además de la neutralización de acidez, podría incrementar la población de microorganismos benéficos del suelo debido a la elevada porosidad natural de esta enmienda que propicia un mejor desarrollo de la vida microbiana.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de diferentes enmiendas calcáreas sobre las propiedades químicas y biológicas en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay.

Por el elevado costo del calcáreo marino en comparación con otras enmiendas calcáreas, se planteó la hipótesis de que con apenas  $1/3$  de la dosis recomendada de este correctivo, se estaría corrigiendo la acidez del suelo y a la vez mejorando otras propiedades químicas y biológicas del suelo.



## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Acidez del suelo**

Un ácido es una sustancia que tiende a entregar protones (iones hidrógeno). Por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución está determinada entonces por la actividad de los iones hidrógeno ( $H^+$ ). Haciendo uso de estos principios químicos, la acidez en el suelo se determina midiendo la actividad del  $H^+$  en la solución del suelo y se expresa como potencial hidrógeno (pH) (Espinosa y Molina 1999).

Los suelos son ácidos debido a la escasez de cationes básicos tales como calcio, magnesio, potasio y sodio en el material de origen o por los procesos pedogenéticos que favorecen la pérdida de ellos (Silva et al. 2008).

La acidez del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de elementos tóxicos, la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, el proceso de fijación biológica de nitrógeno, y propiedades físicas del suelo (Brady y Weil 2008).

La región oriental del Paraguay se caracteriza por tener suelos ácidos en la mayor parte de su superficie, con características químicas inadecuadas para la agricultura. Además de la elevada acidez, presentan altos niveles de Al intercambiable y deficiencia de nutrientes, principalmente Ca y Mg.

El pH es el indicador más importante de las condiciones químicas y biológicas del suelo, y por lo tanto está asociado directa o indirectamente al crecimiento de los

cultivos (Malhi et al.1998). En suelos de pH levemente ácido o neutro, el Al está esencialmente en la forma de óxidos o aluminosilicatos. Cuando los suelos se vuelven más ácidos, formas fitotóxicas de Al, principalmente  $\text{Al}^{3+}$  son liberados en la solución del suelo, en concentraciones que pueden afectar el crecimiento de la planta (Kochian 1995).

## 2.2 Naturaleza de la acidez del suelo

Varios son los procesos edáficos que promueven la reducción del pH, estos procesos ocurren naturalmente en el suelo y son las siguientes:

Un suelo con pH neutro tiene saturada la fase de intercambio con cationes básicos ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ), la acidificación se inicia con la pérdida de estos cationes debido en parte a la absorción de las raíces. La planta, al absorber cationes, libera  $\text{H}^+$  para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo (Espinosa y Molina 1999).

El origen de la acidez del suelo depende de varios factores que involucran desde la génesis del suelo hasta el manejo de este. Una de las causas principales de la acidez del suelo en muchas regiones tropicales de clima húmedo es la alta temperatura y precipitación, que afectan seriamente la productividad de sus suelos ya que dichos factores provocan una acelerada meteorización y acidificación. La acidificación de un suelo es consecuencia de la lixiviación de bases, remoción de cationes por las plantas y la aplicación de fertilizantes de efecto residual ácido (Molina 2014).

La utilización de fertilizantes nitrogenados que contienen forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ) incrementa la acidificación del suelo, debido a que durante el proceso de nitrificación del  $\text{NH}_4$  del fertilizante a  $\text{NO}_3$  se liberan iones  $\text{H}^+$  que producen la acidez en el suelo (Espinosa y Molina 1999).

El grado de acidez que induce la fertilización depende de la fuente de N que se utiliza. Entre los fertilizantes nitrogenados de uso más frecuente se encuentran la urea, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio. Durante su transformación en el suelo, la reacción da como resultado la producción de igual cantidad de N con las tres fuentes, pero los protones liberados son mayores para el sulfato de amonio. Así tenemos que por cada mol de sulfato de amonio se liberan 4 moles de  $H^+$ , mientras que cada mol de urea y nitrato de amonio produce solo 2 moles de  $H^+$  (Chien et al. 2001).

La acidez del suelo también puede ser causada por los iones ácidos que se liberan de la descomposición de la materia orgánica. La descomposición de los residuos de plantas y animales depositados en el suelo forma compuestos ácidos. Los suelos pueden llegar también a ser ácidos por el manejo del hombre. El cultivo intensivo del suelo causa la remoción de grandes cantidades de nutrientes como calcio, magnesio y potasio, a través de la cosecha (Molina 2014).

Es reconocido ampliamente que uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia de aluminio ( $Al^{+3}$ ) en solución. Los iones  $Al^{+3}$  desplazados de los minerales arcillosos por otros cationes se hidrolizan para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos. Las reacciones de hidrólisis del  $Al^{+3}$ , son similares a la reacción de un ácido fuerte como el ácido acético, que libera iones  $H^+$ . La liberación de  $H^+$  contribuye a la acidez del suelo y promueve la presencia de más  $Al^{+3}$  listo para reaccionar nuevamente (Espinosa y Molina 1999).

### **2.3 Clasificación de la acidez**

La acidez proveniente de las fuentes mencionadas anteriormente se puede clasificar de la siguiente forma:

**Acidez activa:** Constituye la actividad de iones hidrógeno ( $H^+$ ) que se encuentran libres o disociados en la solución del sistema suelo-agua. Ese hidrógeno se encuentra en equilibrio con la acidez de la fase sólida (Sanguinetti 2012). Determina las

condiciones de acidez actual del suelo e involucra los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  disociados en la solución de éste (Cruz Chávez 2010).

Acidez potencial: De acuerdo con Van Raij y Quaggio (2001), es aquella que implica no solo la hidrólisis de moléculas de agua de los iones de  $\text{Al}^{+3}$ , sino también los iones de  $\text{H}^+$  intercambiables y los que siguen combinados en coloides por enlaces de tipo covalente y que puede disociarse.

Espinosa y Molina (1999) la definen como la acidez dependiente del pH que se extrae con  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$  a pH de 8,2. Es muy alta porque incluye  $\text{H}_3\text{O}^+$  no intercambiable proveniente de la materia orgánica (fenol y carboxilo) y de sesquióxidos hidratados de Fe y Al.

Acidez intercambiable: Corresponde a la acidez activa más todos los iones de hidrógeno que tienen la capacidad de ser intercambiados por otros cationes desde el complejo de intercambio del suelo (Ramírez 2002). Es la acidez que está asociada al  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  y se establece determinando la cantidad de aluminio intercambiable que tiene el suelo al lavarlo con una solución de  $\text{KCl}$  1N; este tipo de acidez es el más importante en suelos que tienen  $\text{pH} < 5,5$  ya que a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad del aluminio, en forma exponencial (Cruz Chávez 2010).

Acidez no intercambiable: Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable (Espinosa y Molina 1999).

## **2.4 Calcáreos**

El calcáreo agrícola es un producto originado de la estratificación de las rocas calcáreas, que está compuesto básicamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), estas rocas son formadas en el transcurso de millones de años, por acumulación de organismos inferiores como invertebrados y conchas en el fondo de los mares, ríos o lagos subterráneos (Nahass y Severino 2003)

Los calcáreos son compuestos de sales alcalinas ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ) y en vista que el anión carbonato ( $\text{CO}_3^{3-}$ ) presente en este correctivo actúa como un receptor de protones, en la medida en que recibe iones  $\text{H}^+$ , es convertido en agua y gas carbónico (Raij 2008).

El calcáreo es una fuente capaz de reaccionar como producto tampón de la acidez en el suelo, ampliando de esta forma la capacidad de intercambio de cationes de los suelos, lo que resulta en mayor eficiencia de absorción de nutrientes presentes en el suelo por las plantas (Nahass y Severino 2003).

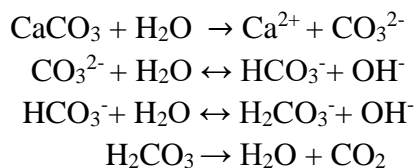
Según los mismos investigadores, existen varios productos que pueden ser utilizados para la corrección de la acidez del suelo, sin embargo, uno de los que más se destacan en función a su alta disponibilidad y facilidad de adquisición es sin duda el calcáreo, que posee carbonatos de calcio y magnesio en tenores variables, lo que posibilita la utilización de calcáreos con tenores de los respectivos nutrientes adecuados a cada tipo de aplicación.

El comportamiento y la eficiencia de estos materiales en el suelo depende de sus características, como la naturaleza química de los neutralizantes, el poder de neutralización, la solubilidad y la granulometría, etc. (Veloso et al. 1992).

## **2.5 Materiales de encalado**

Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. De acuerdo a Vázquez et al. (2012), los productos más utilizados en la actualidad para corregir la acidez del suelo son la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y la dolomita ( $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$ ).

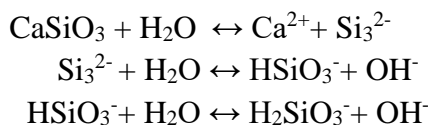
**2.5.1 Calcita:** De acuerdo con Quiroga (2014), el producto a base de carbonato de calcio es el que más se utiliza para corregir la acidez de los suelos y se obtiene por la molienda de rocas calcáreas cuyo principal constituyente químico es el  $\text{CaCO}_3$ . Su acción neutralizante sigue la siguiente reacción:



**2.5.2 Dolomita:** El carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) se denomina dolomita. El material puro contiene 21,6% de Ca y 13,1% de Mg. Aunque la dolomita reacciona más lentamente en el suelo que la calcita, tiene la ventaja de que suministra Mg, elemento con frecuencia deficiente en suelos ácidos (Espinosa y Molina 1999).

**2.5.3 Silicato de Calcio:** Según Prado et al. (2003), una de las alternativas para corregir los suelos ácidos es el uso de la escoria de siderurgia, un residuo de la industria de acero y fundición de hierro, constituida químicamente de silicato de calcio ( $\text{CaSiO}_3$ ).

Según Alcarde et al. (1991), la acción neutralizante del silicato puede ser explicada de acuerdo con las siguientes reacciones:



## 2.6 Alga calcárea como corrector de acidez

El maërl es una formación vegetal marina constituida por la acumulación de algas rojas calcáreas de vida libre y lento crecimiento. Estas algas presentan un alto valor ecológico si se tiene en cuenta la gran diversidad de organismos que alberga, a lo que hay que sumar el confinamiento, escasez y vulnerabilidad de este tipo de hábitats (Peña y Bárbara 2004).

Desde hace tiempo se viene utilizando el *Lithothamnium*, un material correctivo derivado de algas marinas calcáreas, en las costas francesas, inglesas e irlandesas para corrección de suelos ácidos y deficientes en calcio (Le Bleu 1983).

El alga *Lithothamnium calcareum* pertenece al grupo de las algas rojas o rodofíceas, de la familia de las Coralineacea, siendo de aspecto calcáreo, pues absorbe el carbonato de calcio y el magnesio. Son plantas que crecen naturalmente en el medio marino y se desarrollan a grandes profundidades donde existe la presencia de luz (Melo y Moura 2009). Su renovación es permanente con la incidencia de luz natural, convirtiéndose así en una fuente renovable de macro y microminerales. Son utilizados en su estado natural, después de pasar por procesos de lavado, deshidratación y molienda.

El calcáreo producido por la extracción de algas *Lithothamnium* es muchas veces denominado como calcáreo biogénico o biodentrítico marino y puede ser usado en la corrección y fertilización del suelo, nutrición animal y humana, además puede ser empleado en la industria de los cosméticos (Costa Neto et al. 2010).

La formación del calcáreo biogénico ocurre por la precipitación de la calcita que es consecuencia de las actividades de los seres vivos. Esto puede ocurrir con la reducción de la tensión de CO<sub>2</sub> debido a las actividades fotosintéticas de las algas marinas y de los fitopláncton, factor que crea condiciones para que ocurra la precipitación de la calcita (Carreira et al. 2011).

El alga *Lithothamnium calcareum* es compuesta básicamente de carbonato de calcio y magnesio, además contiene más de 20 oligoelementos tales como hierro, manganeso, boro, níquel, cobre, zinc, molibdeno, selenio y estroncio (Dias 2000).

## **2.7 Calidad de los materiales de encalado**

De acuerdo a Espinosa y Molina (1999), la calidad de los materiales de encalado utilizados como neutralizadores de la acidez del suelo se establece en base a la pureza del material, las formas químicas de comercialización, el tamaño de las partículas, el contenido de humedad y el poder relativo de neutralización.

**2.7.1 Pureza química:** El parámetro para determinar la pureza es el valor de neutralización (Tabla 1), que es una medida del poder de neutralización de un calcáreo en particular comparado con el poder de neutralización de  $\text{CaCO}_3$  químicamente puro (Bernier y Alfaro 2006).

Según Quiroga (2014), el valor de neutralización (VN) del material corrector está dado por la cantidad de ácido que es capaz de neutralizar, que dependerá de su composición química y grado de pureza.

**Tabla 1.** Valor de neutralización de los diferentes materiales de encalado (Espinosa y Molina 1999).

Material	VN	Fórmula química	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg (%)
Carbonato de calcio	100	$\text{CaCO}_3$	40	
Dolomita	109	$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	21,6	13,1
Óxido de calcio	179	$\text{CaO}$	71	
Hidróxido de magnesio	172	$\text{Mg(OH)}_2$		41
Carbonato de magnesio	119	$\text{MgCO}_3$		28,5
Óxido de magnesio	248	$\text{MgO}$		60
Silicato de calcio	86	$\text{CaSiO}_3$	34,4	

**2.7.2 Forma química:** La capacidad de neutralización y la reactividad de los materiales de encalado depende de la forma química del material (Díaz 2016).

Los carbonatos y silicatos neutralizan la acidez a través de las bases químicas  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ , sin embargo, los óxidos reaccionan de forma rápida con el agua del suelo consumiendo el  $\text{H}^+$  del suelo a través del  $\text{OH}^-$  (Osorno y Osorno 2010).

**2.7.3 Tamaño de partículas:** La eficiencia de los materiales encalantes va a depender del tamaño de las partículas, debido a que la velocidad de reacción está directamente relacionada con el área superficial de contacto de la partícula con el suelo (Quiroga 2014).



Cuanto menor sea el diámetro, mayor va a ser su velocidad de reacción. De este modo se tiene en cuenta la eficiencia relativa (ER) (Tabla 2), que se basa en el grado de molienda de los materiales de encalado (Pinilla Quezada 2001).

**Tabla 2.** Eficiencia de la enmienda según tamaño de partículas (Espinosa y Molina 1999)

Número de malla-Mesh	Tamaño de los orificios (mm)	Eficiencia relativa (%)
<8	>2,36	0
8-20	2,36-0,85	20
20-40	0,85-0,42	40
20-60	0,85-0,25	60
>60	<0,25	100

**2.7.4 Poder relativo de neutralización total:** El Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) indica qué porcentaje de la cal, expresada por su Valor de neutralización (VN), es capaz de reaccionar en un lapso de tiempo determinado (Espinosa y Molina 1999).

De acuerdo con Quiroga (2014), el PRNT de un material de encalado dependerá de su VN, que está estrechamente relacionado con su composición química y con su eficiencia relativa (ER) que depende del tamaño de la partícula del material.

$$PRNT = \frac{VN \times ER}{100}$$

También se ha de tener en cuenta el porcentaje de humedad que contiene el material de encalado:

$$Factor\ Humedad = \frac{(100 - \%H)}{100}$$

Así teniendo en cuenta todo lo expuesto, la cantidad final a aplicar en un suelo se calcularía del siguiente modo:

$$\text{Cantidad a aplicar} = \frac{\text{Dosis recomendada} \times 100}{\text{PRNT}}$$

## 2.8 Método de encalado por incubación

Existen varios métodos para determinar la necesidad del encalado, como el método de neutralización del aluminio y/o elevación de los tenores de calcio y magnesio, método de la solución tampón SMP, el método de saturación por bases y el método de incubación de suelo con  $\text{CaCO}_3$  o calcáreo (Campanharo et al. 2007).

De acuerdo con Malavolta (1981), la incubación con  $\text{CaCO}_3$  es el método padrón para determinar la necesidad de encalado, sirviendo inclusive para la calibración de otros métodos. Sin embargo, Parpinelli et al. (2006), mencionan que este método no puede ser usado rutinariamente por demandar mucho tiempo en su ejecución.

Las curvas de incubación son definidas con relación al pH, sin embargo, después de la incubación, también pueden ser determinados los tenores de Al y de Ca intercambiables, pudiendo así conocerse la cantidad de calcáreo necesario para neutralizar el Al intercambiable, y además la cantidad de Ca intercambiable (Nolla y Anghionni 2004).

## 2.9 Efectos de enmiendas calcáreas en el suelo

En la agricultura, los suelos son corregidos con el fin de alcanzar un rango de pH entre 5,5 y 6,3, siendo este rango considerado el adecuado para el desarrollo de los cultivos (Oliveira et al. 2005). La elevación del pH del suelo, es decir, la disminución de la concentración de los iones  $\text{H}^+$  presentes en la solución, es el principal beneficio proporcionado por el encalado (Alcarde et al. 1991)

De acuerdo con Díaz (2016), los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten neutralizar los iones  $\text{H}^+$  en la solución del suelo por medio de los

iones  $\text{OH}^-$  producidos cuando el material entra en contacto con el agua del suelo, los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos y neutralizan la acidez a través de su  $\text{OH}^-$  (base fuerte).

El encalado es considerado una de las prácticas que más contribuyen para el aumento de la productividad siendo una combinación favorable de varios efectos, entre los cuales se mencionan: el suministro de Ca y Mg como nutrientes y la disminución o eliminación de efectos tóxicos del Al, Mn y Fe (Scheid et al. 1991).

La disponibilidad de los nutrientes contenidos en el suelo, o adicionados por medio de fertilizaciones es variable en función al pH del suelo. La disponibilidad de los macronutrientes primarios, secundarios y del boro tiende a aumentar, pasando de baja disponibilidad en condiciones de acidez, a valores máximos en el rango de pH en agua, entre 6,0 y 7,0 (Sheid y Guimarães 2000).

En los suelos ácidos cuando corregidos, se percibe el estímulo a la actividad microbiana, se mejora la fijación simbiótica de N por las leguminosas y el aumento en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes presentes en el suelo para las plantas, pues neutraliza la acción fitotóxica del Al, aumenta el tenor de materia orgánica en el suelo, mejorando consecuentemente su aspecto físico (Ribeiro et al. 1999).

El pH del suelo incide directamente en el fósforo, elemento más limitante en suelos altamente intemperizados, principalmente en los suelos con elevada acidez. La mayor disponibilidad del fósforo se da en valores cercanos a la neutralidad, mientras que a pH por debajo de 5,5 el fósforo (P) es fijado por los óxi-hidróxidos de hierro y de aluminio, quedando indisponible a las plantas (Santos et al. 2008).

El aumento del pH del suelo por encalado puede elevar la capacidad de absorción de potasio, disminuyendo pérdidas por lixiviación, sin embargo, dosis excesivas del calcáreo puede provocar desequilibrios en la fertilización potásica (Rosseto et al. 2004)

Es importante que el pH no sea demasiado elevado, lo que puede ocurrir en condiciones de sobre-encalado, indisponibilizando algunos micronutrientes metálicos como Fe, Cu, Mn y Zn. De este modo, las informaciones presentes en el análisis de suelo deben ser siempre el punto de partida para el cálculo de la necesidad de calcáreo, independientemente del método utilizado (Quaggio et al. 1993). El aumento en la disponibilidad de cloro y molibdeno es prácticamente lineal hasta pH 8,0 (Sheid y Guimarães 2000).

En una investigación realizada, Carrizo y colaboradores (2014), comparando el poder de neutralización de enmiendas calcáreas (calcita y dolomita) en 9 muestras de suelo, correspondientes a Argiudoles del Centro de Santa Fé, mencionan que las enmiendas evaluadas resultaron en aumentos significativos del calcio en comparación al testigo, después de 60 días de incubación, representando un aumento del contenido de Ca de 3,9 y 3,4  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ .

Con el fin de evaluar materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un Oxisol de Colombia, Casto y Guerrero (2018), constataron que, en cuanto a la neutralización de la acidez, las enmiendas calcáreas, rocas fosfatadas y materia orgánica fueron altamente significativas respecto al testigo, todas superaron el pH (4,86) original de suelo, sin embargo, el mejor resultado se obtuvo con el grupo de enmiendas calcáreas (dolomita molida, dolomita calcinada, hidróxido de Ca y Mg, y cal viva) que alcanzaron valores de pH cercanos a 6.

Con respecto al efecto del suelo, Havlin et al. (1999), mencionan que, con la aplicación de diferentes fuentes de calcio en suelos con diferentes texturas, se esperan diferencias relacionadas al contenido de arcilla, debido a que este parámetro afecta la capacidad de intercambio catiónico y con ello la adsorción y desorción de las bases.

Pinochet et al. (2005), utilizando cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido, clasificado taxonómicamente como un Typic Hapludand, constataron un aumento significativo en los valores de pH, Ca intercambiable y suma de bases, y una

disminución del aluminio intercambiable y porcentaje de saturación del Al entre las dosis de 1 y 3 g de enmienda por kg.

En una investigación realizada en India, Kumari et al. (2012), demostraron que, la forma granular del fertilizante a base de alga *Sargassum johnstoni* registró el aumento máximo de K, Mg y Ca (268, 122 y 138 %, respectivamente), con respecto al control y al fertilizante a base de la misma alga en forma de polvo. Además, los suelos tratados con algas presentaron un pH casi neutro en comparación al control y a otro tipo de enmienda sin algas.

Uribe et al. (2018), indica que utilizando harina de alga de la especie *Sargassum vulgare* C. Agardh en una proporción de 9 g, en un suelo arenoso, se incrementa el pH inicial de 6,4 a un valor de 7,92 a los 125 días posterior a su aplicación.

Hirzel et al. (2017), mencionan que las enmiendas calcáreas utilizadas en su investigación tuvieron un efecto altamente significativo ( $p < 0.05$ ), con respecto al incremento del pH, la concentración de Ca, Mg, K, Suma de bases (SB), además de la reducción de los valores de Al intercambiable y Saturación de Al ( $\text{Al intercambiable/CICe} * 100$ ) con relación al control en suelos del orden Andisol y Ultisol.

## **2.10 Relación entre la actividad biológica y la acidez del suelo**

El componente microbiológico puede servir como indicador del estado general del suelo, pues una buena actividad microbiana en el suelo es reflejo de condiciones físico-químicas óptimas para el desarrollo de los procesos metabólicos de microorganismos (bacterias, hongos, algas, actinomicetos) (Ramos y Zúñiga 2008).

Wild (1992) afirma que los hongos y el grupo de bacterias-actinomicetos constituyen los dos grandes grupos de microorganismos del suelo y el predominio de uno u otro grupo dependen de las condiciones locales, especialmente del pH y del

contenido de humedad. Los hongos en general prefieren condiciones ácidas del suelo para su desarrollo (pH menor a 5). Según Siqueira et al. (1994), el rango de pH para el crecimiento de la mayoría de las bacterias varía de 6,5 a 7,5, pudiendo algunas especies alcanzar límites extremos entre 0,5 y 9,5.

El encalado incrementa la población, tamaño y actividad de las lombrices del suelo, lo que de manera indirecta hace que se mejore la estructura del suelo, aumentando la presencia de macroporos (Díaz 2016).

Delavechia et al. (2003), mencionan que el encalado aumentó significativamente la nodulación de alfalfa, además, indican que el éxito del tratamiento con cal puede estar relacionado no solo a un aumento de valores de pH, sino también, a un aumento de la concentración de Ca, mejorando el crecimiento y supervivencia de *Sinorhizobium meliloti*.

De acuerdo con Hartley et al. (2004), se logró una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ), aplicando calcáreo granulado en la serradella (*Ornithopus spp.*), en vista a que mejora la supervivencia del inóculo de *Bradyrhizobium* en un 90% con las cepas WSM471, WU425 y WSM480 en la semilla, 24 horas posteriores a la inoculación y aumenta la nodulación y el crecimiento de las plantas en un 57%, cuando las plantas crecieron en un suelo ácido.

Según Zunino (1983), un 70% o más de los suelos en el trópico húmedo presentan condición ácida, la misma conlleva a problemas directos por la concentración de hidrogeniones ( $H^+$ ), aunque, a no ser condiciones extremas, tiene menor limitación sobre la mayoría de los organismos y la fijación de N que los efectos colaterales.

Ozawa y colaboradores (1999), evaluando la tolerancia a condiciones de pH de cepas de *Bradyrhizobium*, constataron que las cepas BTCC-B75 y OSP9 no pudieron sobrevivir en los suelos donde el pH ( $H_2O$ ) tenía valores próximos a 4,4 y 4,8. Estos autores mencionan que la mayor parte de la población nativa de *Bradyrhizobium* está

adherida a las partículas del suelo, indicando que la concentración de  $H^+$  cerca de la superficie de las partículas del suelo es un factor importante para la supervivencia de *Bradyrhizobium* en el suelo.

La aplicación de  $5 \text{ g kg}^{-1}$  de cal mejora la población de bacterias fijadoras de N, se constató mediante el recuento de colonias microbianas por el método de la placa de dilución (Pramanik et al. 2007).

Bekere y colaboradores (2013), mencionan que el encalado del suelo mejoró significativamente el número, volumen y peso seco de los nódulos por planta en un cultivo de soja, por el efecto de interacción de la cal y el *Bradyrhizobium*.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización del experimento**

La incubación de suelos se desarrolló en la Región Oriental del Paraguay, Departamento de Alto Paraná, Distrito de Minga Guazú, a 5 km de la Ruta Nacional PY02, a la altura del km 22, en el invernadero del Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier, donde además de la instalación del ensayo fueron realizadas las evaluaciones químicas. Las evaluaciones biológicas se ejecutaron en el Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT), localizado en el Campus de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), en el Distrito de San Lorenzo, Departamento Central.

#### **3.2 Diseño experimental y tratamientos**

El ensayo de incubación se estableció con tres repeticiones por tratamiento y con un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial, donde los factores fueron las fuentes de enmiendas calcáreas (dolomita, algas calcáreas, algas calcáreas con 1/3 de la dosis recomendada y dos calcáreos experimentales), combinados con un inoculante comercial a base de *Bradyrhizobium japonicum* ( $1 \times 10^9$  ufc/ml), la textura de los suelos (arenosa y arcillosa) y el tiempo de incubación (30, 60 y 90 días). Los tratamientos fueron 14, totalizando 42 macetas de polietileno conteniendo 500 gr de suelo con el calcáreo e inoculante incorporado. Cabe destacar que hubo dos controles, un control sin calcáreo para las evaluaciones químicas y un control adicional con inoculante que fue incluido para las comparaciones de la evaluación biológica (Tabla 3).



Dos tipos de suelo fueron colectados de la camada de 0-20 cm de profundidad, de dos localidades del departamento de Alto Paraná, un suelo con textura arcillosa del Distrito de Minga Guazú y la otra con textura arenosa proveniente del Distrito de Yguazú, un total de 11 kg cada una. Posteriormente cada tipo de suelo fue mezclado hasta tener una distribución bien homogénea, y de cada una se tomó una submuestra de 500 gramos (una submuestra del suelo arenoso y otra del arcilloso). Las submuestras fueron secadas al aire, tamizadas en mallas de 2 mm y sometidas a los respectivos análisis químicos y biológicos para obtener los datos previos a los tratamientos.

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos utilizados en la incubación con sus respectivas dosis. Minga Guazú, Paraguay. 2019.

Tratamiento	Descripción	Dosis Calcáreo (t ha <sup>-1</sup> )
-----Suelo Arenoso-----		
1	Testigo Absoluto (sin inoculante)	-
2	Testigo Inoculado	-
3	Calcáreo Dolomítico	2,4
4	Calcáreo Marino	2,4
5	Calcáreo Marino (1/3 dosis)	0,8
6	Calcáreo Experimental 1	2,4
7	Calcáreo Experimental 2	2,4
-----Suelo Arcilloso-----		
1	Testigo Absoluto (sin inoculante)	-
2	Testigo Inoculado	-
3	Calcáreo Dolomítico	4
4	Calcáreo Marino	4
5	Calcáreo Marino (1/3 dosis)	1,3
6	Calcáreo Experimental 1	4
7	Calcáreo Experimental 2	4

De las dos muestras de suelo preparadas inicialmente, quedaron un total de 10,5 kg de cada tipo de suelo. Se procedió a pesar submuestras equivalentes a 500 gramos de suelo seco, a las que fueron añadidas los tratamientos de fuentes de calcáreos, que fueron depositadas en bolsas de polietileno y se mezclaron completamente para obtener una distribución homogénea en el suelo. Una vez aplicados los tratamientos se procedió a incubar las submuestras por diferentes espacios de tiempos, la inoculación con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* fue realizada a los 30 días de incubación, sin previa esterilización, teniendo en cuenta que, antes de la incubación se

realizó la caracterización del suelo, incluyendo la concentración de bacterias *Bradyrhizobium sp.*, nativa de los dos suelos expresados en ufc g<sup>-1</sup>.

Las dosis del calcáreo aplicados fueron calculadas teniendo en cuenta los resultados del análisis del suelo, realizado en la primera evaluación previa al ensayo, teniendo en cuenta las consideraciones de Fatecha (1999), con respecto a la diferencia de clase textural. Además, se determinó la densidad del suelo por el método del cilindro descrito por Blake y Hartge (1986), así con estos datos se procedió a calcular el peso de una hectárea para cada tipo de suelo. Con la misma se procedió a calcular la cantidad de calcáreo para 500 gramos de suelo.

Posteriormente en cada bolsa de polietileno conteniendo cada tratamiento, siguiendo la metodología descrita por Hissao y colaboradores (1999), se adicionó agua destilada suficiente para mantener una humedad del 40% del volumen total de poros, de manera a facilitar la reacción del calcáreo en el suelo, este tenor de humedad fue mantenido durante toda la fase experimental, cubriendo la abertura para evitar pérdida de agua por evaporación.

### **3.3 Análisis químico**

Previa aplicación de tratamientos, en el ensayo de incubación, se realizó la caracterización química de los diferentes calcáreos y de los dos suelos, para lo que se tomó 500 g como muestra de cada tipo de suelo.

Después del secado en estufa a 40 °C durante 72 horas, molido y tamizado con un tamiz de 2 mm de diámetro, se procedió con los análisis de rutina como la determinación del pH en CaCl<sub>2</sub> 0,01 M, pH en H<sub>2</sub>O, Al por titulación, modificado de McLean (1965), suma de bases determinado por la sumatoria de cationes citado por Soil Survey Laboratory (1996), Ca y Mg intercambiables extraído con KCl 1 M, K intercambiable extraído con solución Mehlich 1, cuantificando los cationes por Espectrofotometría de Absorción Atómica, capacidad de intercambio catiónico,

obtenida por sumatoria de los diferentes cationes intercambiables, básicos y ácidos presentes en el suelo, se determinó el CO total siguiendo la metodología propuesta por Walkley y Black (1934), que se multiplicó por un factor de corrección para el cálculo de la MO, fósforo extraíble determinado por el método de doble ácido (Mehlich 1953), que consiste en una solución extractora con ácido clorhídrico más ácido sulfúrico (Mehlich 1), el contenido de micronutrientes extraídos con la solución Mehlich 1 y la extracción de azufre por el método de Bardsley y Lancaster (1955), utilizando acetato de amonio en ácido acético, además del análisis granulométrico utilizando el método del hidrómetro (Bouyucos 1962) para la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla en las muestras del suelo.

Una vez aplicados los tratamientos con las diversas fuentes de calcáreos se realizaron extracciones de 100 g de suelo como muestras de las diferentes macetas, durante cada periodo de evaluación, las mismas fueron secadas en estufa, molidas y tamizadas para su posterior análisis, que incluyó todos los realizados durante la caracterización, con excepción del contenido de micronutrientes.

### **3.4 Análisis biológico**

En el experimento de incubación, la variable biológica evaluada fue la determinación de unidades formadoras de colonias de la bacteria *Bradyrhizobium sp.*, (ufc g<sup>-1</sup> de suelo) y para ello fue utilizado un medio de cultivo semi-selectivo denominado Extracto de Levadura-Manitol-Agar (YMA) descrito por Vincent (1975), con adición del indicador Rojo Congo con un pH regulado en el rango 6,8-7,2. Se procedió a preparar la cámara de flujo laminar para el plaqueo de los medios, siguiendo siempre un protocolo de asepsia para evitar la contaminación de las placas con medio, como el uso de la luz ultravioleta (UV) por 15-20 minutos, desinfección con alcohol al 70 % y el uso del mechero de Bunsen para minimizar los riesgos de contaminación.

Después del plaqueo, una vez enfriado el medio, se procedió a cerrar bien las tapas de las placas de Petri, y se colocaron en posición invertida, para evitar el goteo del

líquido de condensación sobre la superficie del medio, luego las placas fueron selladas con parafilm y refrigeradas para su posterior utilización.

Se tomaron 3 muestras de 10 g cada una por cada tratamiento, luego las mismas fueron colocadas en tubos de ensayo con 90 mL de solución fisiológica estéril, se procedió a agitar bien y se prepararon diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-7}$ . A partir de la dilución  $10^{-5}$  y por triplicado, se sembraron alícuotas de 100  $\mu$ L (0,1 mL) en medio YMA y fueron incubados a temperatura de 30 °C de 7-10 días.

Posteriormente, se determinó el número de colonias presentes en 10 g de suelo y después en 1 g. Luego de determinar el número de colonias en 1 g, el resultado se multiplicó por el factor de dilución en el que se contaron las colonias y de esta manera se obtuvo el número de UFC  $g^{-1}$  de la bacteria *Bradyrhizobium* contenidas en las muestras.

### 3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento PROC GLIMMIX del programa SAS 9.4 (Statistical Analysis System), utilizando para los componentes químicos y biológicos del ensayo de incubación, un modelo mixto con los factores de tratamiento y días de incubación (medidas repetidas) consideradas como factores fijos; y repeticiones incluido como factor al azar en el modelo.

El análisis de residuales indicó que los criterios básicos de ANOVA no fueron satisfechos para la variable de la población de bacterias *Bradyrhizobium sp.* (UFC  $g^{-1}$ ) (distribución no normal). Por lo tanto, se utilizó una distribución log-normal para esta variable, las demás variables químicas, tuvieron una distribución normal. La interpretación de resultados fue en base a  $\alpha=0.05$ .

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización química y biológica de los suelos

En la Tabla 4, se puede apreciar la caracterización química y biológica realizada en los dos tipos de suelo, previa aplicación e incubación con las enmiendas calcáreas.

El suelo de textura arcillosa presentó una reacción extremadamente ácida cuando fueron medidos en sal y agua (pH Cl<sub>2</sub>Ca: 3,58 y pH H<sub>2</sub>O: 4,54) y concentraciones de Al<sup>+3</sup> de 1,42 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> y una densidad de 5,018333x10<sup>6</sup> UFC g<sup>-1</sup> de bacterias del género *Bradyrhizobium*. En el suelo de textura arenosa también se observó una reacción extremadamente ácida cuando ésta fue medida en sal y agua (pH Cl<sub>2</sub>Ca: 3,48 y pH H<sub>2</sub>O: 4,02) y concentraciones de Al<sup>+3</sup> de 0,49 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> y un total de 3,5x10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup> de *Bradyrhizobium*.

El suelo arcilloso presentó un porcentaje alto de materia orgánica, el tenor de azufre alto y fósforo muy bajo, mientras que el suelo con textura arenosa contenía bajo porcentaje de materia orgánica, contenido alto de azufre y medio de fósforo. Con respecto a los cationes básicos, el calcio, magnesio y potasio presentaron niveles medios en suelos arcillosos, mientras que en el arenoso los mismos presentaron tenores bajos. El aluminio presentó concentraciones muy tóxicas en ambos suelos, además de una baja saturación de bases para los suelos arcilloso y arenoso.

**Tabla 4.** Caracterización química, biológica y textural de los dos tipos de suelos previa a la aplicación de los tratamientos. Minga Guazú, Paraguay. 2019

Variable	Suelo	
	Arcilloso	Arenoso
pH Cl <sub>2</sub> Ca	3,58	3,48
pH H <sub>2</sub> O	4,34	4,02
Calcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,48	0,89
Magnesio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,73	0,33
Potasio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,17	0,11
Aluminio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,42	0,49
Acidez Potencial H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,75	3,16
Suma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,38	1,31
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	13,14	4,47
Carbono (%)	2,33	0,33
Materia Orgánica (%)	4,02	0,58
Saturación de Aluminio (%)	24,48	27,36
Saturación de Bases (%)	33,37	29,30
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	3,05	10,36
Hierro (mg dm <sup>-3</sup> )	12,48	24,97
Manganeso (mg dm <sup>-3</sup> )	192,18	20,93
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	2,93	0,72
Zinc (mg dm <sup>-3</sup> )	1,61	0,52
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	0,74	0,45
Azufre (mg dm <sup>-3</sup> )	9,33	18,33
Concentración de <i>Bradyrhizobium</i> (UFC g <sup>-1</sup> )	5,35x10 <sup>5</sup>	5,025x10 <sup>5</sup>
Arena (%)	8,9	76,4
Limo (%)	21,7	1,7
Arcilla (%)	69,2	21,7

Con relación a los micronutrientes, ambos suelos presentaron contenidos altos de cobre, zinc y boro. El hierro no se encontró en concentraciones tóxicas en los suelos. Sin embargo, para el suelo arcilloso, el manganeso se encontró en un nivel muy alto.

**Tabla 5.** Nivel de significancia de las variables a las interacciones. Minga Guazú, Paraguay. 2019.

Variable	Suelo Arcilloso			Suelo Arenoso		
	Enmienda (E) *	Días (D) ‡	E × D	Enmienda (E)	Días (D)	E × D
----- p > F -----						
pH (H <sub>2</sub> O)	<0.001	0.084	0.035	<0.001	0.0438	0.966
pH(CaCl <sub>2</sub> )	<0.001	<0.001	0.289	<0.001	<0.001	0.009
pH (SMP)	<0.001	<0.001	0.375	<0.001	<0.001	0.366
SB	<0.001	<0.001	0.189	<0.001	<0.001	0.036
Calcio	<0.001	<0.001	0.236	<0.001	<0.001	0.003
Magnesio	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.780
Potasio	<0.001	0.057	0.176	0.266	0.017	0.999
Aluminio	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.302	0.965
Azufre	<0.001	0.002	0.041	<0.001	0.015	0.527
UFC g <sup>-1</sup>	0.223	0.003	0.211	0.149	0.962	0.002

\*, Cinco enmiendas: calcáreo dolomítico, calcáreo de algas marinas, calcáreo de algas marinas con 1/3 de la dosis, calcáreo experimental 1, calcáreo experimental 2.

‡, Incubación durante un periodo de 90 días, muestreado cada 30 días.

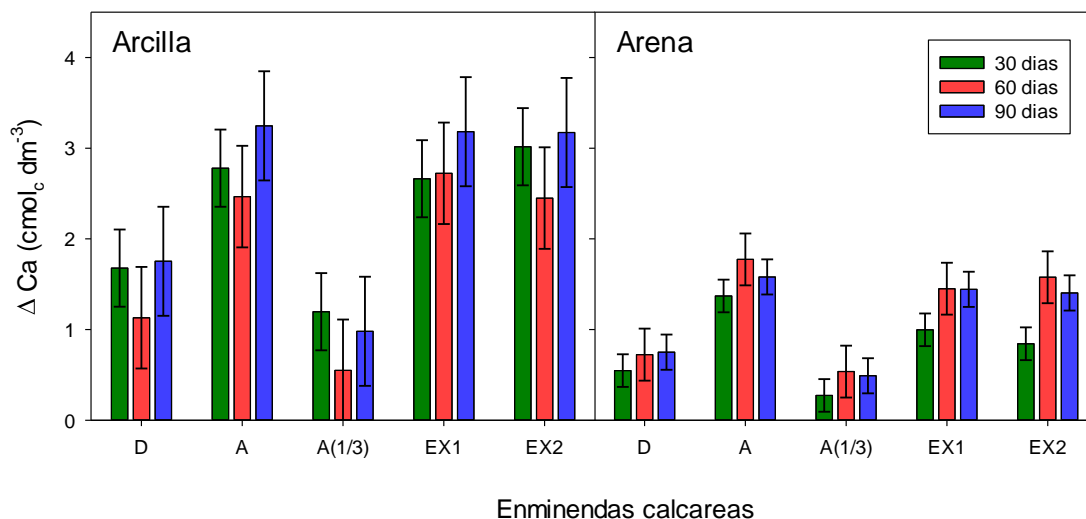
#### 4.2 Alteraciones en las propiedades químicas del suelo

En la Tabla 5, se puede observar que, en función a la aplicación de las enmiendas calcáreas, se observaron efectos significativos de los tratamientos en los tenores de Ca, Mg, reducción de los valores de Al, incremento del pH, SB y S, en ambos suelos, además el aumento de la concentración de K en el suelo arcilloso.

Se constataron alteraciones significativas ( $p < 0.05$ ) del pH CaCl<sub>2</sub> y los tenores de Ca, Mg y SB con relación al periodo de incubación de las enmiendas calcáreas en los dos suelos estudiados y el Al solo en el suelo arcilloso. Sin embargo, el tiempo no presentó efectos significativos con respecto al pH H<sub>2</sub>O y los tenores de S y K.

En la Figura 1 se observa un aumento del tenor de Ca ( $p < 0,05$ ) con la aplicación de las enmiendas calcáreas en los dos tipos de suelos, con efectos significativos hasta los 90 días en el suelo arcilloso y hasta los 60 días en el suelo arenoso. Los mayores incrementos de esta variable en los dos suelos, fueron obtenidos con las enmiendas calcáreas a base de algas marinas utilizando la dosis completa y los calcáreos

experimentales. La fuente dolomítica mostró incrementos menores, debido a la menor aplicación de Ca con esta fuente.



**Figura 1.** Cambios en el contenido de calcio en dos tipos de suelos del departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

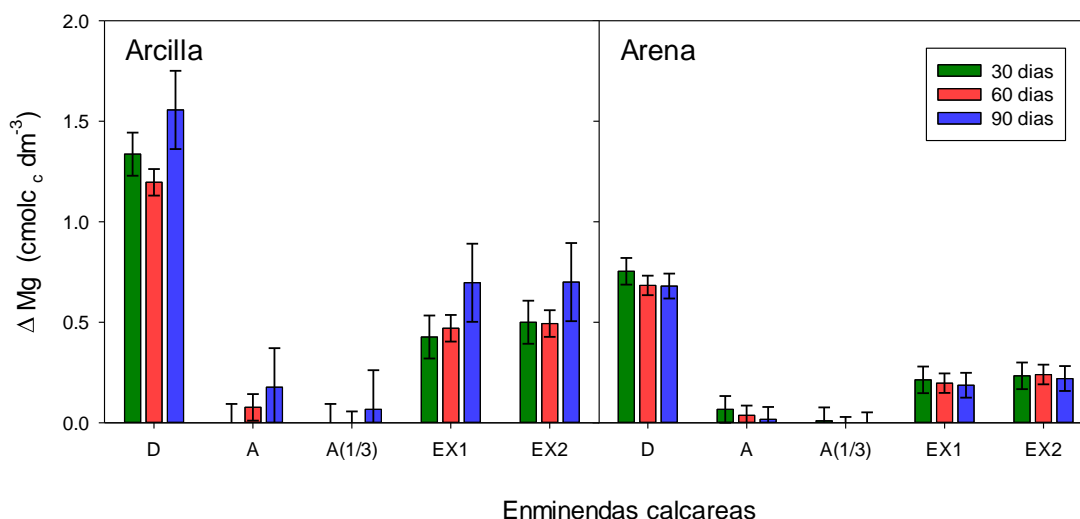
La enmienda marina con la dosis completa presentó el mayor incremento del tenor de calcio a los 90 días en el suelo arcilloso, aumentando  $2,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  con relación al testigo, sin diferir estadísticamente de las enmiendas experimentales 1 y 2 teniendo los máximos incrementos para esta variable a los 90 días con valores de  $3,18$  y  $3,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  respectivamente, mientras que en el suelo arenoso los mayores incrementos del catión se dieron a los 60 días, siendo  $1,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  con la enmienda marina con la dosis completa, y los calcáreos experimentales 1 y 2 aumentaron  $1,45$  y  $1,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  respectivamente, dichos valores son inferiores si comparamos con los incrementos de calcio en suelos de textura arcillosa.

El elevado contenido de calcio presente en diversas especies de algas es una de las razones por la cual se recomienda el uso de éstas como acondicionador de suelos ácidos (Montero et al. 1999).

Se observa un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en el tenor de Mg con la aplicación de las diferentes enmiendas calcáreas, siendo el mayor aumento obtenido con el



calcáreo dolomítico en los dos tipos de suelos, como era esperado, además de las enmiendas experimentales 1 y 2. En el suelo arcilloso se observó aumento significativo ( $p < 0,05$ ) hasta los 90 días, con relación al periodo de incubación, sin embargo, en el suelo arenoso, el efecto fue mucho más rápido y a corto plazo, observándose el efecto a los 30 días (Figura 2).

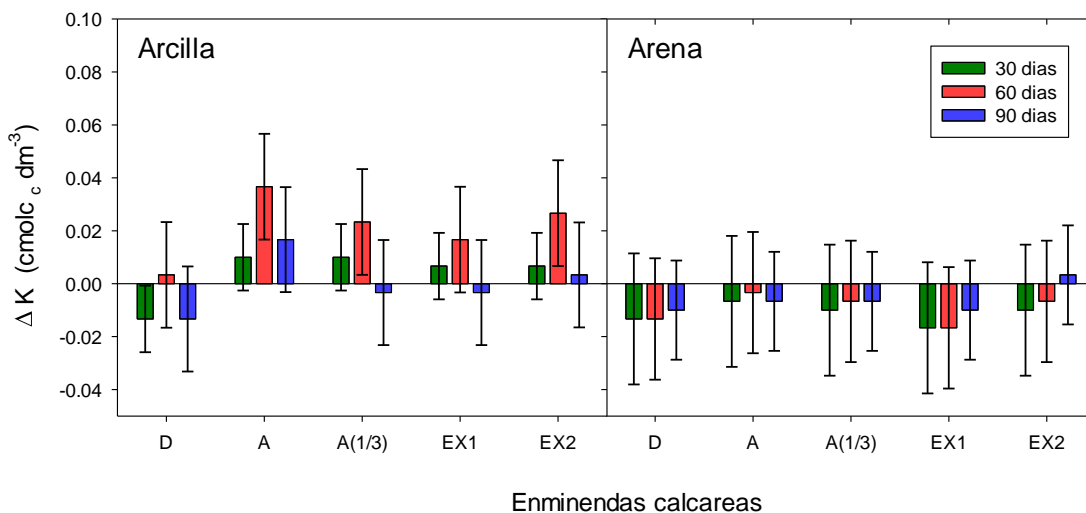


**Figura 2.** Cambios en el contenido de magnesio en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

El mayor incremento propiciado por el calcáreo dolomítico, se debe a que, la dolomita, además de neutralizar la acidez, reduciendo la acidez intercambiable, aporta Mg al suelo, aumentando significativamente el contenido de Mg en el complejo de intercambio y por su composición, las enmiendas calcáreas marinas, con la dosis completa y la dosis inferior a la recomendada no difirieron estadísticamente del control sin aplicación de enmiendas calcáreas (Carrizo et al. 2014). La dolomita propició un incremento de  $1,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a los 90 días y  $0,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a los 30 días, en los suelos arcilloso y arenoso, respectivamente. Debido al aumento de Ca y Mg, la suma de bases y la CIC aumentan (Gonçalves et al. 2015).

En la Figura 3, se observa un comportamiento diferente en cuanto a la respuesta del tenor de K después de aplicadas las enmiendas evaluadas con respecto al tipo de suelo. En el suelo con textura arcillosa se constató que la concentración de K

intercambiable presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las enmiendas a base de algas (con la dosis completa e incompleta) y el calcáreo experimental 2, a los 60 días de incubación, a consecuencia del elevado contenido de potasio presente en las mencionadas enmiendas.



**Figura 3.** Cambios en el contenido de potasio en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

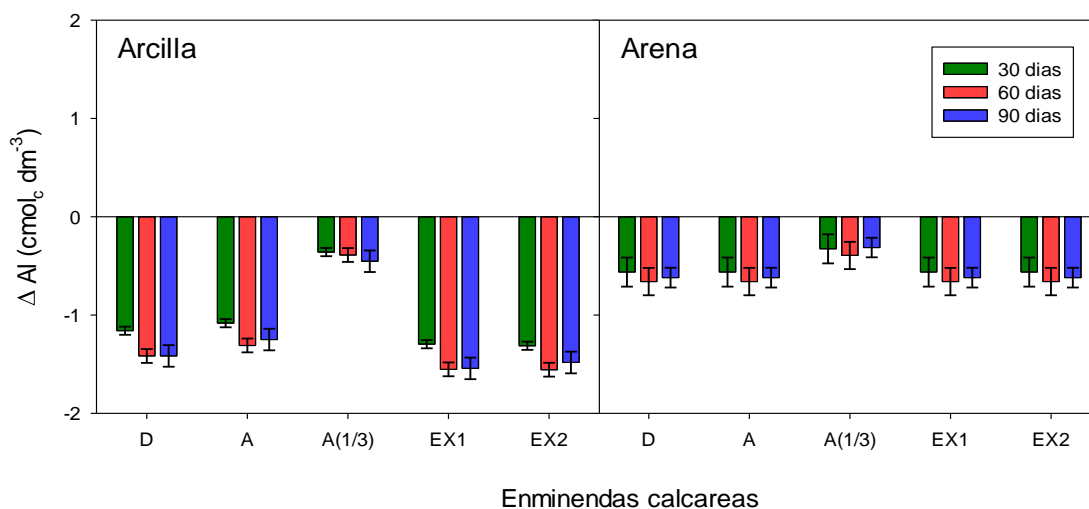
En el suelo arcilloso, a los 60 días de incubación, el calcáreo marino propició un incremento del tenor de potasio de  $0,036 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  con la dosis completa y  $0,023 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  con 1/3 de la dosis recomendada, mientras que el calcáreo experimental 2 tuvo un incremento de  $0,026 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de potasio con relación al control.

De acuerdo a Montero y colaboradores (1999), la aplicación de algas en la agricultura resulta de suma importancia por los altos contenidos de K y P que aporta, resultando ser un material con elevado poder fertilizante.

En el suelo con textura arenosa, se verificó, que el control presentó el mayor tenor de potasio, sin embargo, no difirió estadísticamente ( $p < 0,05$ ) de los demás tratamientos con las enmiendas calcáreas durante todo el periodo de incubación. Moore y Ouilmet (2014), mencionan que la aplicación de enmiendas calcáreas puede generar una reducción en la concentración de potasio intercambiable en el suelo, efecto

estrechamente relacionado a los procesos de intercambio de cationes, pudiendo ser el caso observado en este experimento.

Todas las enmiendas calcáreas disminuyeron la concentración de Al intercambiable ( $p < 0.05$ ), en los suelos estudiados, siendo las enmiendas con dolomita, algas marinas con la dosis completa y los dos calcáreos experimentales los tratamientos que obtuvieron los mejores resultados (Figura 4).



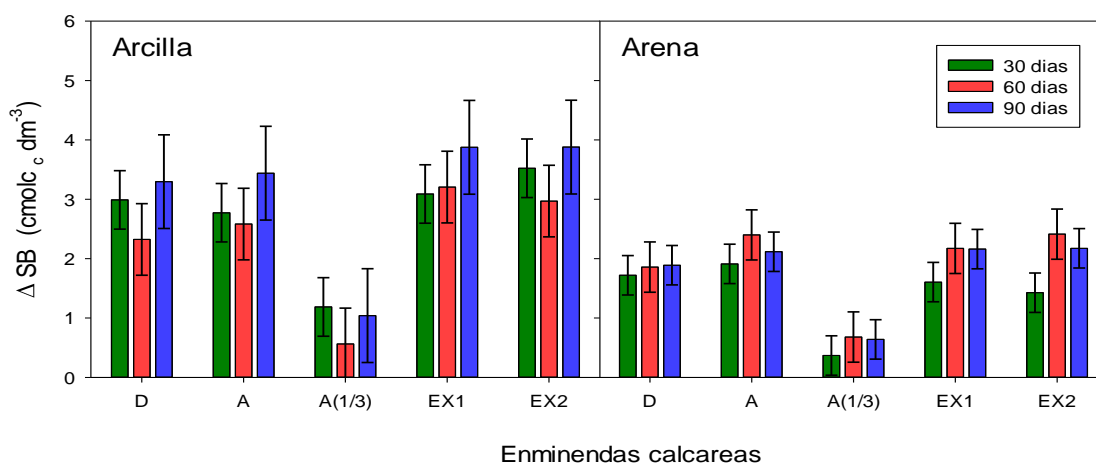
**Figura 4.** Cambios en el contenido de aluminio en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

Con relación al periodo de incubación, en el suelo arcilloso, se constató una reducción progresiva del tenor de aluminio durante todo el periodo en estudio, mientras que, en el caso del suelo con textura arenosa, se redujo totalmente el Al a partir de los 30 días, manteniendo esa concentración hasta el final del periodo de incubación. Esto pudo haber sido causado, por la elevación del pH, que a su vez, permitió un apreciable incremento en el CIC, manteniendo el Al fijo en las partículas de arcilla, evitando que se disuelva en la solución del suelo (Espinosa y Molina 1999).

La enmienda calcárea a base de algas marinas utilizando 1/3 de la dosis presentó diferencias significativas con respecto al control, sin embargo, el contenido de aluminio fue superior con relación a los demás tratamientos.

La disminución del tenor de aluminio es debido al aumento del pH del suelo, este efecto se aprecia por las relaciones negativas entre las dos variables, en los dos tipos de suelos. El aumento del pH de los dos tipos de suelos por la aplicación de las diferentes enmiendas calcáreas ocasiona la precipitación del  $Al^{+3}$  en la forma de  $Al(OH)_3$  (Kinraid 1991).

Con relación a la Suma de bases, se constató, diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $p > 0.05$ ), en los dos tipos de suelos, siendo los dos tratamientos con calcáreas experimentales los que presentaron mayores incrementos de dicha variable con relación al suelo arcilloso, mientras que, con el suelo arenoso, el tratamiento con algas utilizando la dosis completa fue el tratamiento que obtuvo el mayor aumento para esta variable (Figura 5).

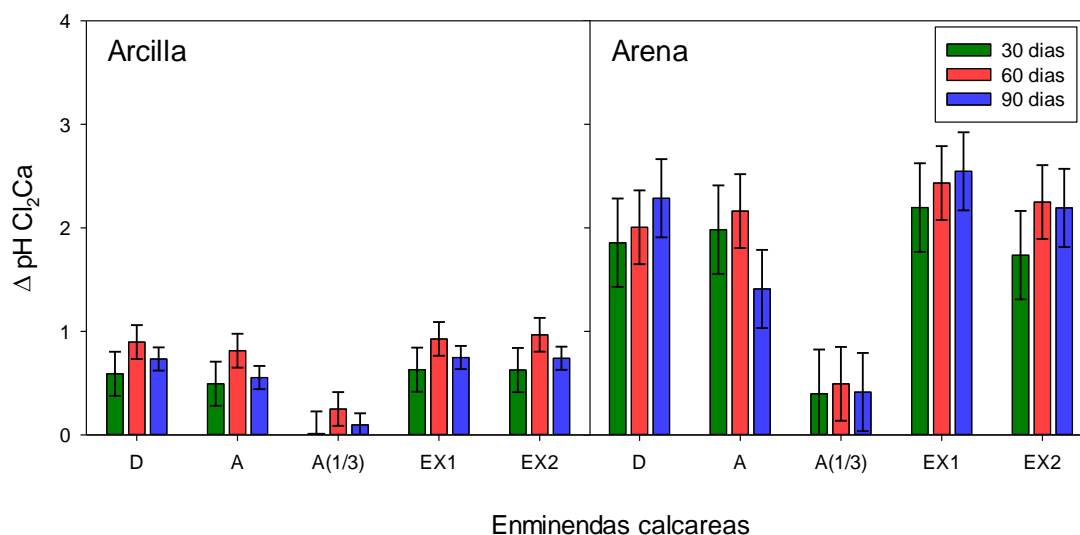


**Figura 5.** Cambios en el contenido de suma de bases en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

La Suma de Bases presenta un comportamiento muy similar al Ca intercambiable, debido a que el Ca es el catión de mayor proporción, presente en la Suma de Base (Hirzel et al. 2017).

Las enmiendas evaluadas resultaron en aumentos significativos de los niveles de pH con relación al testigo ( $p < 0,05$ ). La menor respuesta se observó al utilizar la enmienda a base de algas marinas con la menor dosis, que aun así, fue estadísticamente superior a los controles.

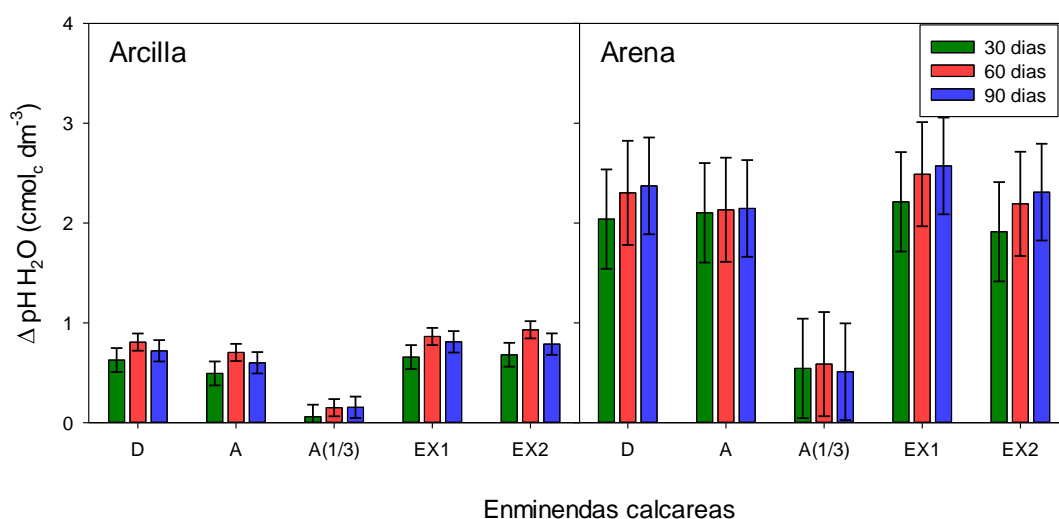
Con relación al suelo arcilloso, las dos enmiendas experimentales y la dolomítica demostraron mayor eficiencia aumentando el pH del suelo medidos en  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , por lo cual, con el pH  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  se detectó efectos significativos ( $p < 0.05$ ) hasta el final del periodo de incubación, sin embargo, con el pH en  $\text{H}_2\text{O}$  se constató el efecto total del calcáreo a los 60 días. El calcáreo Experimental 1 produjo el mayor incremento del pH en  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , sin embargo, la enmienda calcárea experimental 1 no fue estadísticamente diferente a la dolomita cuando medido el pH en  $\text{H}_2\text{O}$ , las enmiendas calcáreas reaccionaron totalmente a los 60 días (Figura 6 y Figura 7). Cabe mencionar que, en el suelo arcilloso, ninguno de las enmiendas calcáreas evaluadas (con las dosis utilizadas) lograron ser eficientes en la corrección de la acidez, es decir, el pH no superó 6 (Anexo 19).



**Figura 6.** Cambios en el pH ( $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ), en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

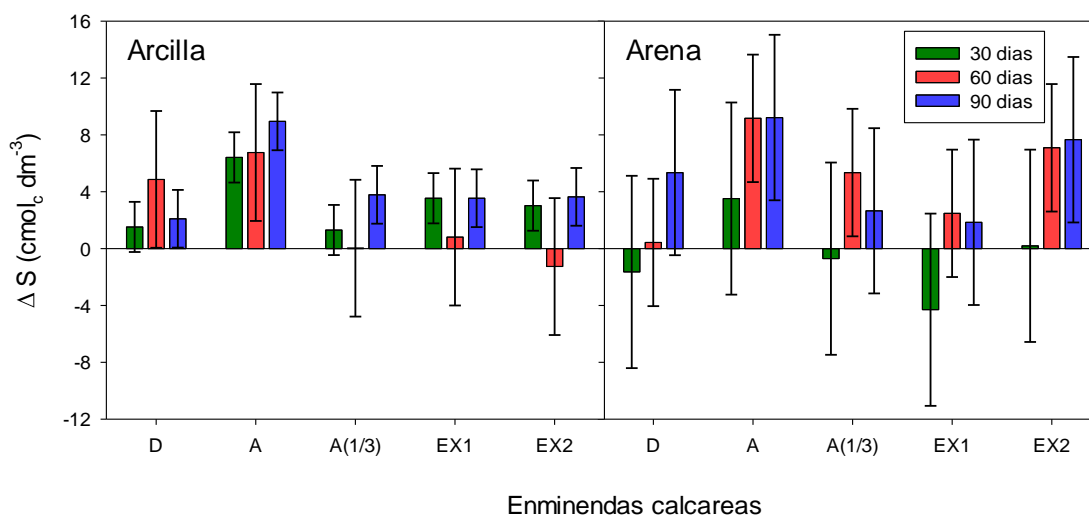
Se constata que, el suelo con textura arenosa utilizando una dosis de  $1,6 \text{ t ha}^{-1}$  menos de calcáreo, en comparación a la aplicada en el suelo arcilloso, logró incrementos de más del doble con relación a los valores de pH, medidos en  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ . La menor respuesta del suelo arcilloso al aumento del valor del pH puede ser debido al mayor poder tampón, asumiendo que es consecuencia de las reservas de cationes acidificantes contenidas en los minerales del suelo.

Enfatizando el suelo arenoso, se constata que todas las enmiendas calcáreas fueron eficientes en la corrección de la acidez del suelo con excepción del calcáreo marino con 1/3 de la dosis recomendada, que durante todo el periodo de incubación no alcanzó valores de pH H<sub>2</sub>O adecuado, es decir, fue inferior a 6 (Anexo 18). Esta dosis no fue eficiente para elevar el pH del suelo, debido a que, al aplicar una reducida cantidad de la enmienda calcárea es limitada la producción de iones OH<sup>-</sup> por la hidrólisis del carbonato, por lo que la neutralización del H<sup>+</sup> de la solución del suelo es mínima.



**Figura 7.** Cambios en el pH (H<sub>2</sub>O), en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

En la Figura 8, se observa que las enmiendas calcáreas presentaron aumentos significativos en el contenido de S ( $p > 0.05$ ), en los dos tipos de suelos hasta el final del periodo de incubación.



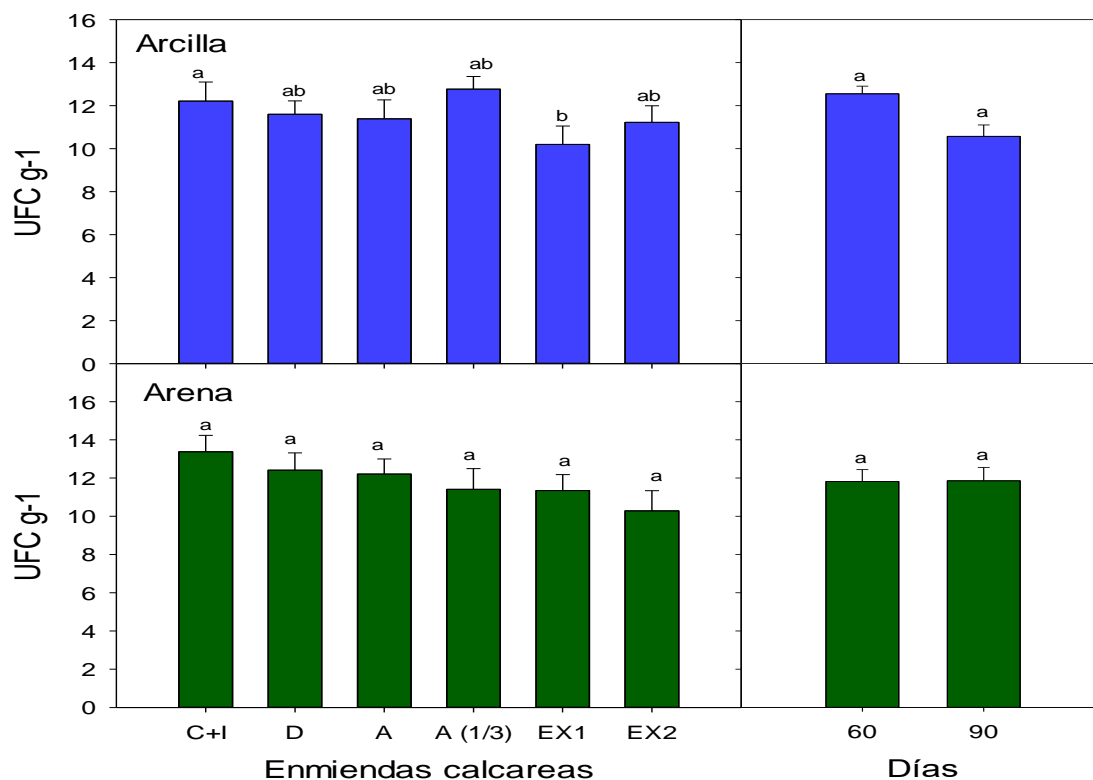
**Figura 8.** Cambios en el contenido de azufre en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay, como efecto del factor principal de enmiendas calcáreas y periodo de incubación (30, 60 y 90 días). Barras de error indican los 95% de intervalos de confianza.

El tratamiento con la adición de la dosis completa de algas marinas propició el mayor aumento del tenor de S durante todos los periodos de incubación. La enmienda con calcáreo marino presentó el mayor incremento a los 90 días, con un aumento de 8,95 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> en el suelo arcilloso y 9,22 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> en el suelo arenoso, sin diferir del valor incrementado a los 60 días de incubación, en los dos tipos de suelo. Un estudio realizado por Possinger (2013), indica que la adición de algas en el suelo ocasiona aumentos significativos del tenor de azufre, debido al alto contenido que esta presenta, observando un valor de 23 g kg<sup>-1</sup> de materia seca de algas como enmienda.

### 4.3 Alteraciones en las propiedades biológicas del suelo

En función a la aplicación de las enmiendas calcáreas, y a los días de incubación, no se observaron aumentos significativos ( $p < 0.05$ ) en la población de la bacteria *Bradyrhizobium sp.* En la Figura 9 se puede observar, que el número de colonias de *Bradyrhizobium sp.*, expresadas en UFC g<sup>-1</sup>, presentó una mayor media con el control con inoculante, sin embargo, no presentó diferencias significativas con los demás tratamientos con enmiendas calcáreas aplicadas en este experimento, con excepción de la enmienda experimental 1, que resultó inferior al mismo. En el suelo arenoso se

constata que no hubo diferencias significativas entre las enmiendas calcáreas aplicadas durante todo el periodo de incubación.



**Figura 9.** Efecto de las enmiendas calcáreas incubadas sobre la población de la bacteria *Bradyrhizobium sp.*, en dos tipos de suelos del Departamento de Alto Paraná, Paraguay. Medias seguidas por las letras iguales no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5%.

El control sin inoculante presentó una población de bacterias *Bradyrhizobium sp.*, nula en los dos tipos de suelos, esto pudo deberse, a la falta de suministro del inoculante bacteriano a los 30 días, por tal nulidad de datos, no se pudo incluir dicho tratamiento para el análisis de varianza.

Alves y colaboradores (2008), mencionan que es necesaria la inoculación en áreas de cultivo y su re-inoculación en los años siguientes, para permitir la sobrevivencia y la naturalización de la población de *Bradyrhizobium* en niveles deseables y eficientes en el suelo.



El control con inoculante, aun sin la aplicación de las enmiendas calcáreas, y por ende, sin aumentar el pH del suelo, no presentó diferencias significativas con los demás tratamientos, en los que sí fueron suministrados los tratamientos con las diversas enmiendas.

De acuerdo a Cuadrado y colaboradores (2009), existe una gran diversidad en los aislados de *Bradyrhizobium*, cepas que pueden tolerar rangos de pH de 4 a 9, por lo que, la falta de aplicación de calcáreos puede no ser una limitante.

Aunque estos resultados parecen no ser la tendencia para las bacterias rizobiales adaptadas a ambientes ácidos, hay ciertas diferencias entre sus géneros, varios informes indican que *Bradyrhizobium sp.*, es más tolerante a los ácidos que *Rhizobium sp.* (Wendt y Duran 2015; Singh 2015).

Otra probable justificación de la tolerancia a la acidez se basa en la capacidad del microorganismo para mantener el pH interno cerca de la neutralidad, que podría estar relacionado con la exclusión de protones, aumentar la capacidad del tampón citoplasmático y mantener altas concentraciones de potasio y glutamato (Lorite et al. 2010; Hungria et al. 2015).

## 5. CONCLUSIONES

Las enmiendas calcáreas con las dosis utilizadas en este ensayo, neutralizaron la acidez del suelo arenoso, con excepción de enmienda marina con dosis reducida que no logró aumentar el pH. Mientras que, en el suelo arcilloso ningún tratamiento fue eficiente en la neutralización de acidez.

Estas enmiendas incrementaron los tenores de Ca y Mg, suma de bases y el contenido de azufre, además de reducir los valores de aluminio intercambiable en suelos con textura arcillosa y arenosa incubados. La dosis menor de la enmienda calcárea a base de algas no fue suficiente para expresar su máximo desempeño en la reducción del aluminio intercambiable.

La dolomita, además de aumentar el pH, suministra una importante cantidad de magnesio en los dos tipos de suelo.

El uso de la enmienda a base de algas calcáreas es una excelente alternativa en la agricultura, pues además de neutralizar la acidez y reducir el contenido de aluminio, suministra nutrientes como fertilizante, incrementando el contenido de azufre en el suelo arenoso y arcilloso, como también potasio en el suelo arcilloso.

El aumento de pH no provocó el incremento de la población de la bacteria *Bradyrhizobium sp*, (UFC/g de suelo) en los suelos incubados.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcarde, J; Guidolin, JA, Lopes, AS. 1991. Os Adubos e a eficiência das adubações. 2. ed. ANDA, São Paulo. 35p.
- Alves, S; Pires, F; Evangelista, CC; Menezes, JF; Guerra, A; Silva, G; Lara, R. 2008. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. (en línea). *Ciencias do Solo*. 32: 861-870. Consultado el 22 jul. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/40.pdf>
- Barbosa Filho, MP; Fageria NK; Silva, OF. 2001. Aplicação de Nitrogênio em Cobertura no Feijoeiro Irrigado. Circular técnico 49. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Goiás, BR. Consultado el 10 ago. 2018. Disponible en [https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando\\_o\\_saber/59272a7838e7e.pdf](https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/59272a7838e7e.pdf)
- Bardsley, CE; Lancaster, JD. 1965. In: CC Black. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*
- Bekere, W; Kebede, T; Dawud, J. 2013. Growth and nodulation response of soybean (*Glycine max* L.) to lime, Bradyrhizobium japonicum and nitrogen fertilizer in acid soil at Melko, South Western Ethiopia. (en línea). *International Journal of Soil Science*. 7p. Consultado el 15 jul. Disponible en <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/ijss/0000/48491-48491.pdf>
- Bernier, R; Alfaro, M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. (en línea). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno, CL. 47p. Consultado el 15 jul. 2018. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/boletines/NR33824.pdf>
- Blake, GR; Hartge, KH. 1986. Bulk density. *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Madison, p.363-375.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54, 464-465.
- Brady, NC; Weil, RR. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. Chapter 1, 1.1–1.14.

- Carreira, A; Kazue, N; Freitas, SR; Micai, FM; Giacometti, R; Silva, JW. 2011. Uso de alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternative de cálcio nas rações de frangos de corte. (en línea). *Ciencias Agrotecnicas*. Lavras, BR. 35(4): 833-840. Consultado el 13 set. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v35n4/25.pdf>
- Campaharo, M; Lira Júnior, MA; Nascimento, CWA; Freire, FJ; Costa, JVT. 2007. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 97-105.
- Carrizo, ME; Alesso, CA; Billoud, H; Pilatti, MA. 2014. Comparación del poder de neutralización de enmiendas calcáreo-magnésicas en suelos de la Pampa llana santafesina. (en línea). *FCA UNCUYO*. 46(2): 73-82. Consultado el 19 jul. 2019. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/07e4/ea6ddcf7eaf24aad7edd7.pdf>
- Castro, H; Guerrero, J. 2018. Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un oxisol de la altillanura colombiana. (en línea). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(2): 14-26. Consultado el 15 jul. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n2/2256-2273-rcia-35-02-00014.pdf>
- Chien, SH; Gearhart, MM; Collamer, DJ. 2001. Los fertilizantes nitrogenados y la acidificación del suelo. (en línea). Reporte de International Fertilizer Development Center (IFDC). Consultado el 12 jul. 2018. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Los%20Fertilizantes%20Nitrogenados%20y%20la%20Acidificacion%20del%20Suelo.asp>
- Costa Neto, JM; Teixeira, RG; Sá, MJ; Lima, AE; Jacinto, GS; Teixeira, MW; Martins Filho, EF; Toríbio, JM; Azevedo, A. 2010. Farinha de algas marinhas (*Lithothamnium calcareum*) como suplemento mineral n a cicatrizacao óssea de autoenxerto cortical em caes. (en línea). *Revista Brasileira Saúde Producao animal*. 11(1): 217-230. Consultado el 12 set. Disponible en <file:///C:/Users/TEMP.hp620-HP.003/Downloads/1342-7495-1-PB.pdf>
- Cruz Chávez, E. 2010. Indicadores de calidad ambiental en suelos ácidos. (en línea). Tesis Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, MX. Consultado el 11 ago. 2018. Disponible en <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/15947/AT15043.pdf?sequence=2>
- Cuadrado, B; Rubio, G; Santos, W. 2009. Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de nodulación) seleccionados de los cultivos de fríjol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. (en línea). *Revista Colombiana Ciencias Químicas y Farmacia*. CO. 38(1), 78-104. Consultado el 09 sep. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v38n1/v38n1a06.pdf>
- Delavechia, C; Hampp, E. Fabra, A; Castro, S. 2003. Influence of pH and calcium on the growth polysaccharide production and symbiotic association of *Sinorhizobium meliloti* SEMIA 116 with alfalfa roots. (en línea). *Biology and Fertility of Soils*.

- 38(2): 110-114. Consultado el 12 ago. 2019. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374--0.pdf>
- Dias, GTM. 2000. Granulados bioclásticos- algas calcáreas. (en línea). *Brazilian Journal of Geophysics*. 18(3) 307-318. Consultado el 28 set. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v18n3/a08v18n3>
- Díaz, JA. 2016. Determinación del efecto de la aplicación de nueve materiales de encalado en muestras de cinco suelos ecuatorianos de diferente material parental. (en línea) Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Quito, EC. 71p. Consultado el 15 ago. 2018. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8225/1/T-UCE-0004-51.pdf>
- Espinosa, J; Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. (en línea). International Plant Nutrition Institute IPNI. Quito, EC. 49 p. Consultado el 10 jul. 2018. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>
- Gonçalves, V; Rocha, F; Yamamoto, W. 2015. Alterações Provocadas pela Calagem na Eletroquímica de um Plintossolo. (en línea). *Uniciencias*. 19(2): 125-131. Consultado el 23 ago. 2019. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/769a/b08e16f1dc.pdf>
- Hartley, E; Herridge, D; Gemell, G. 2004. Lime pelleting inoculated serradella (*Ornithopus* spp.) increases nodulation and yield. (en línea). *Soil Biology and Biochemistry*. 36(8): 1289-1294. Consultado el 18 oct. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071704001270.pdf>
- Havlin, JL; Tisdale S; Nelson, W; Havlin, J; Beaton, J. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 6th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hirzel, J; Lecanneller, R; Cuevas, E; Rodríguez, F. 2017. Efectividad de cales granuladas en el manejo de dos suelos ácidos. (en línea). *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica-IAH*. P 21-30. Consultado el 13 ago. 2019. Disponible en <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/840F7E795894050C0325815D.pdf>
- Hissao, C; Maeda, S; Hernani, LC; Marra, W. 1999. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários Sul-Mato-Grossenses. (en línea). *Pesquisa Agropecuaria*. Brasília, BR. 34(8): 1443-1449. Consultado el 13 jul. 2019. Disponible en <http://globoverdemineracao.com.br/estudo.pdf>
- Hungria, M; Menna, P; Delamuta, JRM. 2015. Bradyrhizobium, the ancestor of all rhizobia: phylogeny of housekeeping and nitrogen-fixation genes. (en línea). *Biological Nitrogen Fixation*. 2:191–202. Consultado el 09 sep. 2019. Disponible en <https://bradyrhizobium-ancestor-or-all-rhizobia.10.1002/9781119053.ch18.pdf>

- Kinraid, TB. 1991. Identity of the rhizotoxic aluminum species. *Plant Soil*, The Hague, v.134, p.167-178.
- Kochian, LV. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review Fisiologia Vegetal Plant Molecular Biology*, v.46, p.237-260.
- Kumari, R; Kaur, I; Bhatnagar, AK. 2012. Enhancing soil health and productivity of *Lycopersicon esculentum* Mill. using *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner as a soil conditioner and fertilizer. (en línea). *Journal of Applied Phycology*. 25:1225-1235. Consultado el 15 ago. 2019. Disponible en <https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/enhancing-soil-health-and-productivity-of-lycopersicon-esculentum-mill-HBS630ICr3>
- Le Bleu, P. 1983. Contribution à l'étude des algues marines en Bretagne: bilan de leur utilisation em milieu agricole. (en línea). Bretagne, FR. 103 p. Consultado el 15 ago. 2018. Disponible en [https://www.bretagne./docs/application/pdf/2012-03/rapport\\_\\_v2.pdf](https://www.bretagne./docs/application/pdf/2012-03/rapport__v2.pdf)
- Lorite, MJ; Muñoz, S; Olivares, J; Soto, MJ; Sanjuán, J. 2010. Characterization of Strains unlike *Mesorhizobium loti* That Nodulate *Lotus spp.* in Saline Soils of Granada, Spain. (en línea). *Applied and Environmental Microbiology*. Granada, ES. 76(12):4019–4026. Consultado el 09 sep. 2019. Disponible en <https://characterization-of-ctrains-unlike-mesorhizobium-10.1128/AEM.02670-10pdf>
- Malavolta, E. 1981. A prática da calagem. In: Seminario sobre corretivos agrícolas. Piracicaba, BR. 313-357.
- Malhi, S.; Nyborg, M.; Harapiak, J. 1998. Effect of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and bromegrass. *Soil & Tillage Research*. 48: 91-101.
- Melo, TV; Moura, AM. 2009. Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. (en línea). *Zootecnia*. 58:99-107. Consultado el 13 ago. 2018. Disponible en <http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/.pdf>
- Mehlich, A. 1953. Determination of phosphorus by doble acid extraction. In: The council on soil testing and plant analysis. Handbook of reference methods for soil testing.
- Molina, E. 2014. Acidez de suelos y uso de enmiendas. (en línea). Serie de notas técnicas Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, CR. 7 p. Consultado el 18 jul. 2018. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf>
- Montero, MJ; Marcet, P; Andrade, ML; Estevez, J. 1999. Influencia de la adición de diversas especies de algas sobre algunas propiedades químicas de un suelo ácido y

- el crecimiento de *Hordeum vulgare* L. (en línea). Ciencia del Suelo. 17(2). Consultado el 18 jul. 2019. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/e469/7add72f2de.pdf>
- Nahass, Samir; Severino, J. 2003. Calcário Agrícola no Brasil. (en línea). Série de estudos e documentos. Centro de Tecnologia Mineral CETEM. Consultado en 18 ago. 2018. Disponible en <file:///C:/Users/Admin/Downloads/sed-55.pdf>
- Nolla, A; Anghinoni, I. 2004. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. Revista de Ciências Exatas e Naturais. Porto Alegre, BR. v. 6, n. 1, p. 97-111.
- Osorno, H; Osorno, L. 2010. Determinación de los requerimientos de cal. (en línea). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Consultado el 15 jul. 2018. Disponible en <file:///C:/Users/Admin/Downloads/DETERMINACIONDELOSREQUERIMIENTOSDECAL.pdf>
- Ozawa, T; Imai, Y; Sukiman, H; Karsono, H; Ariani, D; Saono, S. 1999. Low pH and aluminum tolerance of Bradyrhizobium strains isolated from acid soils in Indonesia. (en línea). Soil Science and Plant Nutrition. 45(4): 986-992. Consultado el 30 jul. 2019. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/.pdf>
- Parpinelli, Leonar; Rodrigues, O. Melém, NJ; Richart, A. Demétrio, G. Carneiro, M. Reis, LC; Morisada, A; Bertolla, T; Klein, R; Barth, G. 2006. Neutralização da acidez ativa dos solos mediante incubação com carbonato de cálcio. (en línea). Fertilizantes. Londrina, BR. 4 p. Consultado el 14 ago. 2018. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64034/1/AP-2006-neutralizacao-acidez-solos.pdf>
- Peña, V; Bárbara, I. 2004. Diferenciación morfológica y anatómica entre Lithothamnion corallioides y Phymatolithon calcareum (Corallinales, Rhodophyta) en dos bancos de maerl de la Ría de Arousa (N.O. Península Ibérica). (en línea). Anales de Biología. La coruña, ES. 26:21-7. Consultado el 12 ago. 2018. Disponible en <https://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/03-DIFERENCIACION.pdf>
- Pinilla Quezada, H. 2001. Acidez de suelo y enmiendas calcáreas en cero labranza. (en línea). Seminario Cero Labranza: Tecnología del futuro. Chiloé, CL. Consultado el 12 jul. 2018. Disponible en <https://docplayer.es/5213392-Acidez-de-suelo-y-enmiendas-calcareas-1-introduccion.html>
- Pinochet, T; Ramírez, F; Suárez, D. 2005. Evaluación de la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. (en línea). Agro Sur. 33(1): 29-35. Consultado el 15 jul. 2019. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/agrosur/v33n1/art04.pdf>
- Possinger, A. 2013. Using Seaweed as a Soil Amendment: Effects on Soil Quality and Yield of Sweet Corn (*Zea mays* L.). University of Rhode Island, US. 90 p.

- Prado, RM; Fernandes, FM; Natale, W. 2003. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana de açúcar. (en línea). *Ciencias do solo*. UNESP, BR. 27: 287-296. Consultado el 23 ago. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16230.pdf>
- Pramanik, P; Ghosh, GK; Ghosal, PK; Banik, P. 2007. Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicomposts of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology*. 98: 2485–2494.
- Quiroga, MJ. 2014. Efecto de la aplicación de materiales encalantes en el cultivo de la vid cv. Mencía en la D.O. Bierzo, incidencia sobre la composición fenólica y evolución en la crianza del vino. (en línea). Tesis Doctoral. Universidad de León. León, ES. Consultado el 14 jul. 2018. Disponible en [file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis\\_c2d153%20\(1\).PDF](file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis_c2d153%20(1).PDF)
- Raij, BV. 2008. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC. 233p.
- Ramos, E; Zuñiga, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. (en línea). *Ecología aplicada*. Lima, PE. 7(1,2) 123-130. Consultado el 23 jul. 2018. Disponible en [http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo\\_15\\_vol\\_7\\_Ecologia\\_aplicada.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo_15_vol_7_Ecologia_aplicada.pdf)
- Ribeiro, AC; Guimarães, PTG; Alvares, VH. 1999. CFSEMEG - Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa, MG.
- Rosseto, R; Spironello, A; Cantarella, H; Quaggio, JA. 2004. Calagem para a cana de açúcar e sua interação com a adubação potássica. (en línea). *Bragantia*. Campinas, BR. 63(1). Consultado el 13 set. 2018. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-8705200100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-8705200100011)
- Santos, D; Gatiboni, L; Kaminski, J. 2008. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. (en línea). *Ciencia Rural*. 38(2): 576-586. Consultado el 13 set. 2018. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-9&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-9&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Sheid, A; Guimaraes, LR. 2000. Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas. (en línea). *Boletim Técnico*. Associação Nacional para Difusão de Adubos. 14 p. Consultado el 12 jul. 2018. Disponible [http://www.anda.org.br/boletim\\_04.pdf](http://www.anda.org.br/boletim_04.pdf)
- Silva, V; Vargas, AC; Freitas, V; Costa, V. 2008. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. (en línea). *Revista Brasileira Ciências do Solo*. 32: 551-559. Consultado 12 jul. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs.pdf>



- Singh A. 2015. Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. *Ecological Indicators*. 128 p.
- Siqueira, JO; Colozzi Filho, A; Saggin Júnior, OJ. 1994. Efeito da infecção de plântulas de cafeeiro com quantidades crescentes de esporos do fungo endomicorrízico *Gigaspora margarita*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, BR. 26(6): 875-883p.
- Uribe, ME; Mateo, LE; Mendoza, C; Amora, EF; González, D; Durán, D. 2018. Efecto de alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. (en línea). IDESIA. Santiago de Chile, CL. 8 p. Consultado el 23 jul. 2019. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/329126996.pdf>
- Van Raij, B; Quaggio, JA. 2001. *Análise química para a avaliação da fertilidade dos solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico, 285 p.
- Vázquez, M; Terminiello, A; Casciani, A; Millán, G; Cánova, D; Gelatti, P; Guilino, F; DOronzoro, A; Nicora, Z; Lamarche, L; García, M. 2012. Respuesta de la soja (*GLICINE MAX L. Merr*) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. (en línea). *Ciencias del Suelo*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, AR. 30(1). Consultado el 15 ago. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/scielo.pdf>
- Veloso, CAC; Borges, AL; Muniz, AS; Veigas, IA. 1992. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. (en línea). *Scientia Agricola*, vol 49. Piracicaba, BR. Consultado el 15 ago. 2018. Disponible en: <http://www.scielo.br/scielo.pdf>
- Vincent, JM. 1975. *Manual práctico de Rizobiología*. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, AR. 4 p.
- Walkley, A; Black, AI. 1934. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38
- Wendt, D; Duran, R. 2015. Native bradyrhizobial symbionts of *Lupinus mariae-josephae*, a unique endemism thriving in alkaline soils in Eastern Spain (en línea). *Valenciana*, ES. 192 p. Consultado el 09 sep. 2019. Disponible en: <http://oa.upm.es/37229/pdf>.
- Wild A. 1992. La población microbiana del suelo. In *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. p. 471-494
- Zunino, H. 1983. Ecología microbiana: Acumulación de humus y fertilidad de los suelos alofánicos. (en línea). *Suelos ecuatoriales*. EC.12(1) 23-36. Consultado el 15 ago. Disponible en [https://docplayer.es/26164732\\_1983-ecologia-microbiana-acumulacion-de-humus-y-fertilidad-delos-suelos-alofanicos-suelos-ecuatoriales-23-36.htm](https://docplayer.es/26164732_1983-ecologia-microbiana-acumulacion-de-humus-y-fertilidad-delos-suelos-alofanicos-suelos-ecuatoriales-23-36.htm).

## **7. ANEXOS**

Muestras calcáreas	ER (%)	PN (%)	PRNT (%)	Ca (%)	CaO (%)	Mg (%)	MgO (%)	T10 (%)	T20 (%)	T50 (%)
Calcáreo Dolomítico	80,1	106,6	106,6	22,5	31,6	12,7	21,0	0,03	14,0	21,5
Calcáreo Marino	-	76,2	76,2	30,2	42,3	0,7	1,23	-	-	-
Experimental 1	94,4	100,4	100,4	33,7	47,1	4,2	7,1	0,3	0,4	12,2
Experimental 2	91,2	101,8	101,8	34,1	47,7	4,3	7,2	0,08	0,7	20,1

**Anexo 1.** Caracterización química de enmiendas calcáreas



**Anexo 2.** Localización del experimento. Timac Agro. Minga Guazú.



**Anexo 3.** Invernadero de la empresa Timac Agro. Minga Guazú.



**Anexo 4.** Incubación de enmiendas calcáreas en suelos arenosos y arcillosos.



**Anexo 5.** Testigo sin calcáreo.



**Anexo 6.** Pesaje de enmiendas previa incubación.



**Anexo 7.** Esterilización de placas y utensilios de laboratorio.



**Anexo 8.** Elaboración de medio de cultivo semiselectivo para *Bradyrhizobium*.



**Anexo 9.** Esterilización del medio de cultivo.



**Anexo 10.** Preparación de todo los equipos a ser utilizados bajo campana.



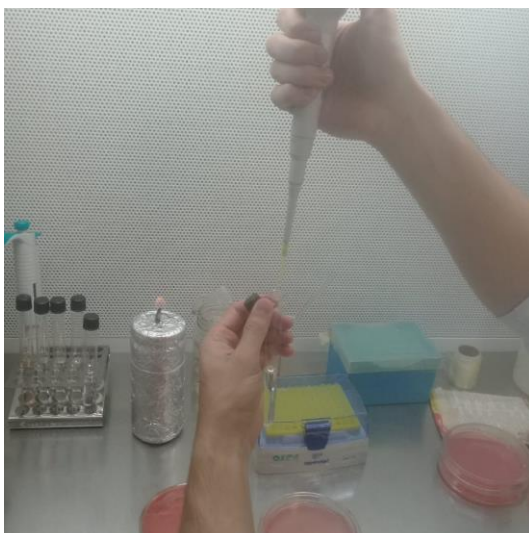
**Anexo 11.** Tubos con solución salina.



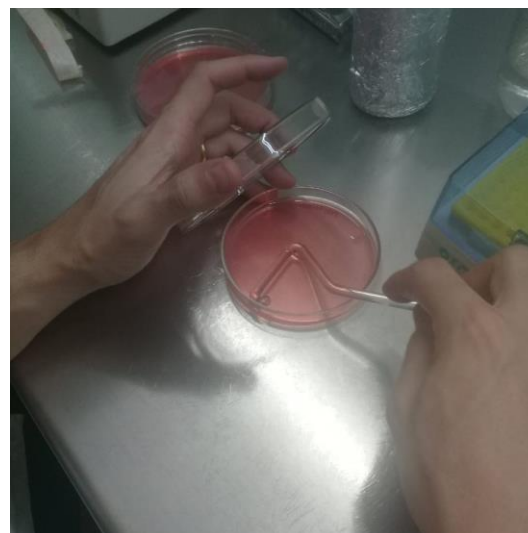
**Anexo 12.** Medios de cultivos semi-selectivo para *Bradyrhizobium*



**Anexo 13.** Agitación del suelo con la solución salina.



**Anexo 14.** Extracción de la solución del suelo.



**Anexo 15.** Siembra de *Bradyrhizobium sp.*



**Anexo 16.** Las placas son puestas en estufa.



**Anexo 17.** Conteo de colonias de la bacteria.

Muestras de suelo	Valores de pH promedios - Suelo arenoso		
	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	pH H <sub>2</sub> O
Previo tratamiento	3,48	6,61	4,02
Testigo Absoluto	3,58	6,65	4,1
Testigo Inoculado	3,6	6,71	4,22
Cal dolomítica	5,44	7,2	6,14
Marino	5,56	7,16	6,2
Marino 1/3 dosis	3,98	6,88	4,64
Experimental 1	5,78	7,28	6,31
Experimental 2	5,32	7,25	6,01

**Anexo 18.** Valores finales de pH de los diferentes tratamientos en suelos arenosos

Muestras de suelo	Valores de pH promedios - Suelo arcilloso		
	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	pH H <sub>2</sub> O
Previo tratamiento	3,58	5,24	4,34
Testigo Absoluto	3,55	5,36	4,1
Testigo Inoculado	3,48	5,3	4,12
Cal dolomítica	4,14	5,89	4,73
Marino	4,04	5,8	4,59
Marino 1/3 dosis	3,56	5,35	4,16
Experimental 1	4,18	5,87	4,76
Experimental 2	4,18	5,92	4,78

**Anexo 19.** Valores finales de pH de los diferentes tratamientos en suelos arcillosos